

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MÉTODO DE APLICAÇÃO DA PRODUÇÃO NIVELADA EM SISTEMAS  
DE MANUFATURA REPETITIVA COM PRODUÇÃO EM LOTES

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

para a obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

**LUCIANO FONSECA DE ARAÚJO**

Florianópolis, Outubro de 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MÉTODO DE APLICAÇÃO DA PRODUÇÃO NIVELADA EM SISTEMAS  
DE MANUFATURA REPETITIVA COM PRODUÇÃO EM LOTES

**LUCIANO FONSECA DE ARAÚJO**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA  
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA

sendo aprovada em sua forma final.

---

Prof. Abelardo Alves de Queiroz, PhD – Orientador

---

Prof. Eduardo Alberto Fancello, D. Sc – Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Carlos Henrique Ahrens, Dr.Eng. – Presidente

---

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr.Eng.

---

Dr. Carlos Lobo (Empresa Taktica)

*“Todos os atos humanos se originam de uma ou mais dentre estas causas:  
oportunidade, personalidade, impulso, hábito, desejo, paixão.”*

Aristóteles

Ao meu pai, Oswaldo, *in memoriam*.

A minha mãe, Joselita,  
com muito amor.

## AGRADECIMENTOS

Mais uma etapa em minha vida se encerrou e eu não poderia deixar de reiterar os meus sinceros agradecimentos àqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação, ensinando-me e incentivando-me, positivamente, a buscar continuamente o meu aprimoramento profissional.

Primeiramente, a Deus, pela vida.

Agradeço aos meus familiares, pelo amor, com muitas saudades e aos meus amigos de Salvador, principalmente Armando & Bianca, Bruno, Luciana Farias, Eduardo & Carol e Leonel & Priscila, Cida, Marlon, Luciana, Eduardo, Léo & Rúbia, Fátima e Paulo.

Agradeço à Débora, pela atenção, carinho e companheirismo.

Gostaria de agradecer àqueles que tornaram possível o meu ingresso no mestrado: os professores Paulo Victor Fleming, da UNIFACS, e Thamy Cristina Hayashi, da UFBA, e ao meu grande amigo Wilson Jr, pela amizade e inestimável ajuda.

Gostaria de agradecer ao meu amigo e orientador, o professor Abelardo Alves de Queiroz, que me ensinou a “enxergar desperdícios” e a compreender a linguagem científica. Agradeço também à Universidade Federal de Santa Catarina, bem como à coordenação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, pela oportunidade de desenvolvimento. Agradeço aos professores Fernando Cabral e Eduardo Alberto Fancello, e à Maria Goreti Alves, pelo profissionalismo e suporte. Além disso, agradeço a FEESC e à Solange. Agradeço à instituição CNPq, pelo fornecimento da bolsa de pesquisa, sem a qual a minha estadia em Florianópolis teria sido inviável.

Agradeço aos membros da banca pelas contribuições valiosas para a melhoria desta dissertação.

Igualmente, agradeço aos meus colegas do grupo GETEQ: Wilson Jr, Adrian, Carlos, Fausto, Maurício, Vanessa, Cíntia, Gece, Túlio, Élvio, Ricardo, Rodrigo, Pedro, Tiago, Darlei, Jonathas, Lisiane, Juliana, Aline, Marina e Gustavo. Não poderia deixar de agradecer aos amigos Enildo, Nina, Paulo, Fernando, João Pedro, D. Vilma, Carla, “Dra” Cátia, Silvana Lígia, Luana, Luciane, Mari & Rodrigo, Tânia, Clair, Marlova, Lílian, D. Áurea & família, Adriana, à escola de mergulho em Florianópolis e à turma das trilhas e jantares na ilha.

Agradeço aos novos amigos em Florianópolis, Joinville, Curitiba e São Paulo, incluindo a turma da república Residence. Agradeço também à “Empresa A”, pela “energia”, confiança ao disponibilizar o excelente “laboratório” para a aplicação do método e as contribuições valiosas ao projeto final.

## SUMÁRIO

LISTA DE ACRÔNIMOS .....	viii
LISTA DE TERMOS ESTRANGEIROS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE QUADROS .....	xiii
LISTA DE TABELAS .....	xiv
LISTA DE VARIÁVEIS .....	xvi
RESUMO .....	xviii
ABSTRACT .....	xix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. A COMPETITIVIDADE E A RELEVÂNCIA DA MANUFATURA ENXUTA .....	1
1.1.1. Contextualização do problema: o modelo geral de PCP e a Produção Nivelada.....	3
1.2. QUESTÃO DA PESQUISA .....	6
1.3. OBJETIVOS.....	8
1.4. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	9
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
2.1. A MANUFATURA ENXUTA E A PRODUÇÃO NIVELADA .....	11
2.2. OS OBJETIVOS DA MANUFATURA ENXUTA .....	11
2.2.1. Princípios de gestão dos processos enxutos: o Modelo Toyota.....	12
2.2.2. A classificação da Manufatura Enxuta.....	14
2.3. MODELO GERAL DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO .....	16
2.3.1. A abordagem tradicional de nivelamento da produção.....	16
2.4. OS MÉTODOS DE PCP NA MANUFATURA ENXUTA E A PRODUÇÃO NIVELADA.....	19
2.4.1. Representação das práticas de PCP na Manufatura Enxuta.....	20
2.4.2. O planejamento da produção de médio prazo.....	21
2.4.3. O Plano Nivelado .....	21
2.4.4. Plano detalhado dos materiais e o Sistema Kanban .....	25
2.4.5. Tempo Takt e as operações de montagem .....	28
2.4.6. Tempo Takt, as operações de fabricação e o incremento Pitch .....	29
2.4.7. Relação entre o plano nivelado e o cálculo do Kanban .....	33
2.4.8. O planejamento da produção de curto prazo .....	34
2.4.9. As cinco atividades de controle da produção em linhas de montagem .....	34
2.4.10. A caixa de nivelamento (Heijunka Box) .....	36
2.5. O SISTEMA KANBAN .....	37
2.5.1. Pré-requisitos do Sistema Kanban .....	37
2.5.2. Funções e regras operacionais do Kanban .....	37

2.5.3.	<i>O Sistema Kanban de Dois Cartões</i> .....	39
2.5.4.	<i>O Kanban de sinalização</i> .....	42
2.5.5.	<i>O Sistema Kanban eletrônico</i> .....	43
2.6.	FLUXO DE MATERIAIS E O ARRANJO FÍSICO.....	43
2.6.1.	<i>O fluxo de valor e o processo puxador</i> .....	44
2.7.	MÉTODO DE SMALLEY PARA A IMPLANTAÇÃO DA PRODUÇÃO NIVELADA .....	46
2.7.1.	<i>Selecionar os itens com base em critérios de prioridade</i> .....	48
2.7.2.	<i>Definir a estratégia de posicionamento dos produtos</i> .....	49
2.7.3.	<i>Dimensionar o estoque de produtos acabados.</i> .....	50
2.7.4.	<i>Definir o processo puxador do fluxo de valor</i> .....	51
2.7.5.	<i>Definir como nivelar a produção no processo puxador</i> .....	52
2.7.6.	<i>Transmitir a informação da demanda ao processo puxador</i> .....	54
2.8.	COMENTÁRIOS SOBRE O MÉTODO DE SMALLEY .....	57
2.9.	PRINCÍPIOS DOS PROCESSOS ENXUTOS EM PRODUÇÃO NIVELADA .....	58
2.9.1.	<i>Sete princípios de gestão dos processos enxutos</i> .....	59
2.9.2.	<i>Políticas do nivelamento da produção (Heijunka)</i> .....	59
2.9.3.	<i>Políticas da produção puxada (Sistema Kanban)</i> .....	60
2.10.	COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO 2 .....	60
3.	DESCRIÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO .....	63
3.1.	MÉTODO DE PLANEJAMENTO E CÁLCULO DA PRODUÇÃO NIVELADA .....	63
3.1.1.	<i>Planejamento de Médio Prazo</i> .....	65
3.1.2.	<i>Planejamento de Curto Prazo</i> .....	77
3.2.	PASSOS PARA A IMPLANTAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO .....	82
3.3.	COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO 3 .....	83
4.	PESQUISA DE CAMPO PARA VALIDAÇÃO DO MÉTODO .....	85
4.1.	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	85
4.2.	ESTRUTURA DA PESQUISA .....	87
4.3.	ESTUDO DE CASO PARA VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO .....	88
4.4.	ESTUDO DE CASO DO ESTADO ORIGINAL.....	90
4.4.1.	<i>Apresentação da “empresa A”</i> .....	90
4.4.2.	<i>Características dos produtos e do processo puxador</i> .....	90
4.4.3.	<i>História da empresa A</i> .....	92
4.4.4.	<i>Informações sobre o desempenho operacional no estado original</i> .....	93
4.4.5.	<i>Informações sobre o Planejamento de Médio Prazo no estado original</i> .....	95
4.4.6.	<i>Informações sobre o Planejamento de Curto Prazo no estado original</i> .....	97
4.4.7.	<i>Análise dos métodos de PCP da empresa A</i> .....	100
4.5.	DIAGNÓSTICO DO ESTADO ORIGINAL.....	104
4.5.1.	<i>Quanto à compreensão dos conceitos</i> .....	104
4.5.2.	<i>Quanto à adaptação dos conceitos ao sistema produtivo</i> .....	104

4.5.3.	<i>Quanto à coerência entre os conceitos e as práticas</i>	105
4.5.4.	<i>Quanto à adesão aos fundamentos da Manufatura Enxuta</i>	105
4.6.	CONCLUSÕES SOBRE O ESTADO ORIGINAL	106
4.7.	VALIDAÇÃO DO MÉTODO NO ESTADO FUTURO	106
4.7.1.	<i>Planejamento para o estado futuro</i>	107
4.7.2.	<i>Selecionar os produtos e priorizar os itens A e B</i>	108
4.7.3.	<i>Elaboração do planejamento da Produção Nivelada</i>	109
4.8.	EXECUÇÃO DO PLANO	130
4.8.1.	<i>Treinamento</i>	130
4.8.2.	<i>Execução do projeto piloto</i>	131
4.8.3.	<i>Melhoria contínua</i>	132
4.9.	COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO 4	136
5.	VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO	138
5.1.	COMPARAÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO	138
5.1.1.	<i>Análise gráfica das médias e tendências</i>	140
5.2.	QUANTO AOS PRINCÍPIOS E POLÍTICAS DA PRODUÇÃO NIVELADA	147
5.3.	COMPARAÇÃO AO MÉTODO DE SMALLEY	151
5.4.	DIAGNÓSTICO DO ESTADO FUTURO	152
5.5.	COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO 5	153
6.	CONCLUSÕES	155
6.1.	CONCLUSÕES	155
6.2.	RECOMENDAÇÕES DE PEQUISAS	157
6.2.1.	<i>Decorrentes da delimitação do escopo da pesquisa</i>	157
6.2.2.	<i>Decorrentes das possibilidades encontradas na pesquisa</i>	157
	BIBLIOGRAFIA	158
	APÊNDICE A	163
	APÊNDICE B	166

## LISTA DE ACRÔNIMOS

- BOM - Bill of Material (Listas de materiais, estrutura dos produtos)*
- EDI - Electronic Data Interchange (Intercâmbio Eletrônico de Dados)*
- FGI - Finished Good Inventory (produtos finais acabados)*
- FIFO - First in, First out (primeiro a entrar, primeiro a sair)*
- IMVP - International Motor Vehicle Program*
- MRP - Materials Requirement Planning (Planejamento das Necessidades de Materiais)*
- PCP - Planejamento e Controle da Produção*
- PDCA – Planejar (Plan), Executar (Do), Verificar (Check), Agir (Act)*
- PMP - Plano Mestre de Produção*
- RFID - Radio Frequency Identification (Identificação por Rádio Frequência)*
- S&OP - Sales & Operations Planning (Planejamento de Vendas e Operações)*
- TDP - Tempo Disponível para Produzir*
- VSM - Value Stream Map (Mapa do Fluxo de Valor).*

## LISTA DE TERMOS ESTRANGEIROS

- Andon* – Sinalização luminosa para advertência
- Assembly-to-order* – Montar sob encomenda, montar contra-pedido
- Backflushing* - Débito dos registros de estoque de peças e matérias primas, após a conclusão da fabricação ou montagem de um determinado modelo de produto final.
- Backlog* - Carteira de pedidos
- Buffer Stock* - Estoque pulmão para compensar as variações de demanda
- Bullwhip Effect* – Efeito Forrester ou Amplificação da demanda
- Empowerment* – Delegação de autoridade ou poderes de decisão, autonomia e participação dos funcionários nas atividades administrativas.
- Finished goods inventory* – Estoque de produtos finais acabados
- Hansei* – Reflexão incansável, relacionada ao processo decisório da Toyota
- Heijunka* – Produção nivelada ou nivelamento da produção
- Heijunka Box* – Caixa de nivelamento da produção ou quadro de nivelamento da produção
- Incremento Pitch* – Intervalo de tempo de controle da produção
- Just-in-time* – Em cima da hora, no momento exato
- Kanban* – Cartão ou registro visível
- Kaizen* – Melhoria Contínua
- Lead time* – Tempo de atravessamento
- Leveling Production (Leveled Production)* – Produção nivelada ou nivelamento da produção
- Make-to-order* – Produzir sob encomenda, produzir contra-pedido
- Make-to-stock* – Produzir para estoque
- Marketing* – Departamento responsável por vendas e divulgação dos produtos
- Mix* – Composto, variações dos modelos de produtos, gama de produtos ofertados
- On hand* – Em mãos, estoque disponível, livre de pedidos de transferência ou de venda
- Pacemaker* – Processo puxador
- Part-number* – Número de identificação de produto final, material em processo, peças, matérias-primas
- Pitch (Pitch de Produção)* – Tempo de produção do lote padrão
- Safety Stock* – Estoque de segurança para compensar as instabilidades da produção
- Set up* – Tempo de preparação das máquinas ou processos para mudança de produtos.
- Software* – Aplicativo comercial para sistemas operacionais computadorizados

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 – Modelo geral de planejamento e controle da produção. Fonte: adaptado de Vollmann et al (2006).</i> .....	3
<i>Figura 2.2 – Representação geral do Planejamento e Controle da Produção da Manufatura Enxuta. Fonte: adaptado de Vollmann et al (2006).</i> .....	20
<i>Figura 2.3 – Quadro Kanban e as três faixas de prioridade baseadas no Ponto de Ressuprimento. Fonte: adaptado de Tardin (2001).</i> .....	27
<i>Figura 2.4 – Quadro de controle da produção com incremento Pitch de uma hora para operacionalizar a gestão visual da produção. Fonte: Kamada (2007).</i> .....	32
<i>Figura 2.5 – Representação gráfica da relação entre o plano nivelado e os parâmetros de cálculo do Kanban. Elaborado pelo autor.</i> .....	33
<i>Figura 2.6 – Fluxo de informações de programação diária em linha de montagem. Fonte: elaborado pelo autor.</i> .....	35
<i>Figura 2.7 – Exemplo de uma caixa de nivelamento com incremento Pitch de 20 minutos e as cinco atividades de PCP. Fonte: elaborado pelo autor.</i> .....	36
<i>Figura 2.8 – Sistema de dois cartões com rota de abastecimento de materiais. Adaptado de Schonberger (1993). (*) P: Kanban de produção; T: Kanban de transporte</i> .....	40
<i>Figura 2.9 – Operação do Kanban de sinalização. Fonte: adaptado de Smalley (2007).</i> .....	42
<i>Figura 2.10 – Fluxo de valor em uma fábrica típica da Toyota. Fonte: Adaptado de Monden (1998).</i> .....	44
<i>Figura 2.11 – Representação genérica de um fluxo de produção em um mapa do fluxo de valor e o processo puxador. Fonte: adaptado de Browne et al (1988: p.196).</i> .....	45
<i>Figura 2.12 – Exemplos de identificação do processo puxador. Fonte: Adaptado de Lécico Lean (2003).</i> .....	46
<i>Figura 2.13 – Comparação da abrangência do escopo entre o Mapa do Estado Futuro e a Produção Nivelada. Fonte: Rother &amp; Harris (2003).</i> .....	47
<i>Figura 2.14 - Mapa do Estado Atual da empresa “Apogee” para a explicação do método de Produção Nivelada. Fonte: Adaptado de Smalley (2004).</i> .....	47
<i>Figura 2.15 – Relatório de programação diária exemplificando a dificuldade em se produzir modelos variados devido ao tamanho dos lotes de produção. Fonte: Smalley (2004).</i> .....	48
<i>Figura 2.16 – Priorização dos produtos conforme a classificação ABC baseada em percentuais recomendados para os respectivos ciclos de reposição. Fonte: adaptado de Smalley (2004).</i> .....	49

<i>Figura 2. 17 – Método de cálculo do número de Kanban para o dimensionamento do estoque dos produtos acabados. Fonte: Smalley (2004).</i>	51
<i>Figura 2. 18 - Mapa do Estado Futuro para a explicação do método de Produção Nivelada. Fonte: Adaptado de Duggan (2002) e Smalley (2004).</i>	51
<i>Figura 2.19 – Exemplo de cálculo do Pitch de produção, para um item qualquer. Fonte: Smalley (2004).</i>	52
<i>Figura 2.20 – Exemplo de cálculo do número máximo de intervalos Pitch de produção por turno. Fonte: Smalley (2004).</i>	53
<i>Figura 2.21 – Exemplo de cálculo do número máximo de intervalos Pitch de produção por turno. Fonte: Smalley (2004).</i>	53
<i>Figura 2.22 – Exemplo de plano nivelado por turno para a produção dos vinte e cinco modelos de produtos. Fonte: Smalley (2004).</i>	54
<i>Figura 2.23 – Retirada Compassada com Kanban de transporte. (*) P : Kanban de Produção. Fonte: elaborado pelo autor.</i>	55
<i>Figura 2.24 – Expedição com Retirada em lotes com Kanban de produção. (*) P : Kanban de Produção. Fonte: adaptado de Harris et al (2003).</i>	57
<i>Figura 3. 1 – Fluxo de informações de definição do plano nivelado. Fonte: elaborado pelo autor.</i>	66
<i>Figura 3.2 – Relação entre o plano nivelado e o cálculo do Kanban.</i>	73
<i>Figura 3.3 – Fluxo de informações de definição do sistema Kanban.</i>	74
<i>Figura 3.4 – Fluxo de informações de programação diária em operações de fabricação. Fonte: elaborado pelo autor.</i>	78
<i>Figura 3.5 – Fluxo de informações de programação e controle da produção. (Produção Nivelada). Fonte: elaborado pelo autor.</i>	80
<i>Figura 4. 1– Sequência de atividades para a primeira parte da pesquisa de campo, adaptada da metodologia de pesquisa de Eisenhardt (1989). Elaborado pelo autor.</i>	88
<i>Figura 4. 2 – Sequência de atividades para a segunda parte da pesquisa de campo, adaptada da metodologia de pesquisa de Eisenhardt (1989). Elaborado pelo autor.</i>	89
<i>Figura 4. 3 - Fluxo de valor estudado, produtos, processos e as respectivas operações de processamento. Fonte: dados da empresa A.</i>	91
<i>Figura 4. 4 – Linha de tempo com o histórico de mudanças no sistema de gestão da produção da empresa A. Fonte: elaborado pelo autor.</i>	92
<i>Figura 4. 5 – Representação gráfica da posição do estoque diário versus os limites planejados do Ponto de Ressuprimento. Fonte: dados da empresa A.</i>	94

<i>Figura 4. 6 – Fluxo de informações do planejamento de médio prazo para calibração da demanda e cálculo do Kanban. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 4. 7 – Exemplo resumido do relatório de programação diária da produção no processo puxador. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 4. 8 – Fluxo de informações de definição do plano nivelado.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 4. 9 – Fluxo de informações de definição do Sistema Kanban .....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 4. 10 – Sistema Kanban híbrido “triangular-eletrônico-gestão visual” desenvolvido pela equipe do projeto. Fonte: elaborado pelo autor. ....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 4. 11 – Fluxo de informações das regras de operação do sistema e as cinco atividades de controle da produção. Fonte: elaborado pelo autor.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 4. 12 - Detalhe do Quadro de Controle Horário da Produção utilizado para o controle da produção diária por meio do intervalo Pitch de uma hora. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 4. 13 – Etapas do seminário elaborado pela equipe para a implantação do projeto piloto. Fonte: dados da empresa A.....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 4. 14 – Quadro Kanban, gráficos de estoque e o quadro de nivelamento provisórios utilizados na implantação do projeto piloto. Fonte: Dados da empresa A. ....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 5. 1 - Estoque diário expresso em peças para o modelo K, com evidência de eliminação da superprodução após a implantação do método. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 5. 2 – Estoque diário expresso em peças para o modelo G, com evidência de pedido de maior volume no final do mês de Março/2008. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 5. 3 – Estoque diário expresso em peças para o modelo N, com evidência de demanda mais estável durante o projeto. Fonte: dados da empresa A.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 5. 4 – Estoque médio mensal expresso em peças para os itens TOP (planejado e realizado) para o fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 5. 5 – Estoque médio mensal expresso em dias para os itens TOP e NTOP no período de observação do fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A.....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 5. 6 – Número de Set up por mês para os itens TOP e NTOP do fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A.....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 5. 7 – Nível de Serviço dos itens TOP e NTOP para o fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 5. 8 – Resumo dos resultados do desempenho antes e depois do projeto piloto para os itens TOP do fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 5. 9 – Resumo dos resultados no desempenho nos itens NTOP, não controlados pelo novo método. Fonte: dados da empresa A.....</i>	<i>147</i>

## LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 2. 1 – Decisões da empresa Apogee sobre as estratégias de posicionamento dos produtos “produzir para estoque” ou “produzir sob encomenda” para os itens A, B e C. ....</i>	<i>50</i>
<i>Quadro 3. 1 - Atividades integrantes da Produção Nivelada para sistemas de fabricação com produção para estoque.....</i>	<i>64</i>
<i>Quadro 3. 2 – Passos para a implantação do método proposto. ....</i>	<i>82</i>
<i>Quadro 4. 1 - Princípios dos processos enxutos do Modelo Toyota.....</i>	<i>101</i>
<i>Quadro 4.2 – Políticas do Nivelamento da Produção e do Sistema Kanban.....</i>	<i>102</i>
<i>Quadro 4.3 – Passos para o planejamento e a execução do método proposto.....</i>	<i>107</i>
<i>Quadro 4.4 – Comparativo das características dos métodos de PCP, antes e depois do projeto piloto para o fluxo de valor estudado.....</i>	<i>135</i>
<i>Quadro 5. 1 – Resumo da etapa de Verificação.....</i>	<i>138</i>
<i>Quadro 5.2 – Princípios dos processos enxutos do Modelo Toyota. ....</i>	<i>148</i>
<i>Quadro 5.3 – Políticas do Nivelamento da Produção e do Sistema Kanban.....</i>	<i>149</i>
<i>Quadro 5.4 – Comparação entre o método de Smalley e o proposto. ....</i>	<i>151</i>

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2. 1 – Exemplo de um plano nivelado de produção para um intervalo de oito dias. Fonte: adaptado de Liker &amp; Meier (2007).</i>	23
<i>Tabela 2. 2 – Adaptação do exemplo de plano nivelado com inclusão da regra de definição dos ciclos de produção. Fonte: adaptado de Liker &amp; Meier (2007).</i>	24
<i>Tabela 3. 1 – Exemplo de plano nivelado de oito dias com os lotes de produção e demanda mensal. Fonte: adaptado de Liker &amp; Meier (2007).</i>	67
<i>Tabela 3. 2 - Tabulação dos dados para a definição do ciclo de produção dos dez modelos de produtos e os respectivos lotes mínimos de produção. Fonte: elaborado pelo autor.</i>	68
<i>Tabela 3. 3 – Planilha para cálculo do Pitch de produção para o plano nivelado de oito utilizando as taxas de produção e tempo de Set up. Fonte: elaborado pelo autor.</i>	71
<i>Tabela 3. 4 – Exemplo de plano nivelado de oito dias expresso com Pitch de produção. Fonte: adaptado de Liker &amp; Meier (2007).</i>	72
<i>Tabela 3. 5 – Planilha para cálculo do Kanban com tempo de espera de 240 min e lead time expresso em dias. Fonte: elaborado pelo autor.</i>	76
<i>Tabela 4. 1 - Itens TOP representados pelos modelos de produtos de maior importância dentre quatro famílias de produtos. Fonte: dados da empresa A.</i>	108
<i>Tabela 4. 2 - Métodos de PCP utilizados para a programação do fluxo de valor Estudado no estado futuro. Fonte: dados da empresa A.</i>	109
<i>Tabela 4. 3 - Tabulação dos dados para a definição do ciclo de produção dos onze modelos de produtos para a máquina 1. Fonte: dados da empresa A.</i>	111
<i>Tabela 4. 4 - Cálculo dos lotes mínimos para comparação aos lotes de produção gerados a partir do critério de definição dos ciclos da máquina 1. Fonte: dados da empresa A.</i>	113
<i>Tabela 4.5 – Revisão dos tamanhos dos lotes teóricos por meio do ajuste manual no número de preparações no mês para a máquina 1. Fonte: dados da empresa A.</i>	114
<i>Tabela 4.6 - Cálculo dos lotes mínimos para comparação aos lotes de produção gerados a partir do critério de definição dos ciclos da máquina 2. Fonte: dados da empresa A.</i>	114
<i>Tabela 4.7 - Revisão dos tamanhos dos lotes teóricos por meio do ajuste manual no número de preparações no mês para a máquina 2. Fonte: dados da empresa A.</i>	115
<i>Tabela 4.8 - Cálculo do Pitch de produção para o processamento dos lotes mínimos dos onze modelos de produtos para a máquina 1. Fonte: dados da empresa A.</i>	116

<i>Tabela 4.9 - Cálculo do Pitch de produção para o processamento dos lotes mínimos dos onze modelos de produtos para a máquina 2. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>117</i>
<i>Tabela 4.10 - Plano nivelado de seis dias com os lotes de produção e os respectivos Pitch de produção para a máquina 1. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>118</i>
<i>Tabela 4.11 - Plano nivelado de seis dias com os lotes de produção e os respectivos Pitch de produção para a máquina 2. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>119</i>
<i>Tabela 4.12 – Análise da utilização da capacidade disponível em seis dias de produção e as respectivas capacidades requeridas para os itens TOP. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>119</i>
<i>Tabela 4. 13 – Número total de cartões para os lotes mínimos dos 22 itens TOP, considerando 250 peças por embalagem. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>122</i>
<i>Tabela 4.14 – Tabulação dos parâmetros de cálculo das faixas do Kanban para os modelos de produtos da máquina 1. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>123</i>
<i>Tabela 4.15 - Tabulação dos parâmetros de cálculo das faixas do Kanban para os modelos de produtos da máquina 2. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>124</i>
<i>Tabela 4.16 - Planilha para coleta diária dos dados de estoque e comparação aos limites do Kanban eletrônico para a máquina 1. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>126</i>
<i>Tabela 4.17 – Plano de redução dos turnos de trabalho, de três para dois, de segunda a sábado. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>133</i>
<i>Tabela 4. 18 - Plano de redução dos valores dos parâmetros de cálculo do Kanban para o processo puxador. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>134</i>
<i>Tabela 5. 1 – Dados de desempenho antes e depois do projeto piloto para os itens TOP do fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>138</i>
<i>Tabela 5. 2 – Dados de desempenho antes e depois do projeto piloto para os itens NTOP do fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A. ....</i>	<i>139</i>

## LISTA DE VARIÁVEIS

$2I$  = fator de proporcionalidade, expresso em peças/m<sup>2</sup>

$A$  = quantidade de peças por embalagem padrão ou quantidade de peças por Kanban, isto é, há um cartão para cada embalagem.

$DD$  = Demanda diária média - obtida pela divisão da demanda total do período de nivelamento da produção pelo número de dias trabalhados no período, geralmente expressa em peças por dia;

$DP$  = Demanda do Período – é obtida a partir dos dados do plano mestre de produção para o mês desejado e é fornecida para cada modelo de produto ou peça (part-number).

$EP$  = Política variável de estoque de proteção - ou seja, que deve ser definido a critério do gestor do sistema de produção, expresso em dias;

$FV$  = Fator de Velocidade, adimensional

$LM$  = Lote mínimo de produção, limitado ao tamanho da bobina, expresso em peças

$LOTE$  = tamanho do lote, expresso em peças

$LT$  = Lead time de fabricação do lote, que pode ser expresso matematicamente como a soma dos tempos de Set up, de processamento do lote e de espera.

$N$  = número total de cartões, sendo um cartão igual a uma embalagem padrão de um produto, peça ou matéria-prima;

$NS$  = Número de Set up do período – quantidade de operações de preparação de máquinas e processos, relacionada à frequência de reposição de um produto.

$Pitch$  = Pitch de Produção, tempo de produção do lote padrão, expresso em minutos

$Takt$  = quociente entre o Tempo Disponível para Produzir (TDP) e a Demanda Diária Total por peças no período de operação

$TB$  = Tamanho da bobina, expresso em m<sup>2</sup>

*TC = Tempo de ciclo - frequência com que um produto final é produzido no processo puxador. Corresponde ao intervalo de tempo entre a produção de duas peças, em um processo manual ou automatizado, com qualidade dentro da especificação.*

*TDP = Tempo disponível para Produzir - calculado a partir do tempo total do turno de trabalho, descontando-se as paradas programadas para lanches, almoço e reuniões de troca de turno.*

*TP = Taxa de produção, expressa em peças por minuto*

*T<sub>PROC</sub> = Tempo teórico de processamento, expresso em minutos.*

*T<sub>SET</sub> = Tempo de Set up para um dado modelo de produto, expresso em minutos*

*$\alpha$  = fator de proteção de 25% do estoque de ciclo, para atender às variações de demanda;*

*$\beta$  = fator de proteção adicional para atender às incertezas internas, como quebra de máquinas e defeitos da qualidade, correspondente a 20%.*

## RESUMO

A *Toyota* - a maior montadora de automóveis do mundo - desenvolveu métodos associados ao planejamento e controle da produção, PCP, que viabilizaram o aprimoramento da cadeia produtiva automobilística, aumentando a competitividade das empresas integrantes por meio da produção de bens diversificados consumindo menos recursos em menos tempo. De fato, estudos indicam que tais métodos, baseados no conceito de Produção Nivelada, reduzem os efeitos danosos da amplificação da demanda (Efeito Forrester), causada, em parte, pela gestão independente dos elos de uma cadeia de produção. Por essa razão, a Produção Nivelada reduz os estoques em toda a cadeia de suprimentos, aumentando o nível de serviço aos clientes. Entretanto, baseado em pesquisas recentes, constatou-se que as publicações referentes à aplicação da Produção Nivelada em outros segmentos de manufatura se apresentam de forma incipiente. Tais pesquisas são focalizadas em casos particulares de sequenciamento de modelos variados em linhas de montagem, caracterizadas por lotes de produção reduzidos. Partindo dessas considerações, esta dissertação apresenta um método de aplicação da Produção Nivelada em sistemas de manufatura repetitiva caracterizados por operações de fabricação em lotes, incluindo a estrutura com as etapas necessárias para o planejamento, cálculo e implantação. O foco é orientar tanto acadêmicos quanto empresas dos diversos segmentos de manufatura discreta e repetitiva, que representam uma parcela relevante do setor industrial. O método proposto parte de conceitos existentes na literatura, tais como a priorização dos produtos, o plano nivelado de produção, incremento *Pitch* e o cálculo do *Kanban*. Finalmente, no estudo de caso, foram constatadas deficiências nas práticas de PCP da empresa pesquisada, na qual práticas associadas à Manufatura Enxuta estão em contínuo processo de aplicação ao longo dos últimos anos. Logo, justificou-se a aplicação do método proposto, cujos resultados foram apresentados por meio de duas abordagens: os indicadores de desempenho de Custos (estoques), Rapidez (*lead time*), Flexibilidade de composto/mix (número de *Set up* por mês) e Confiabilidade (nível de serviço) foram analisados por meio de gráficos e da variação nas médias, antes e depois do método. Em seguida, comparou-se o método aos princípios enxutos previamente estabelecidos. Os resultados corroboram o aumento do desempenho, bem como a introdução das práticas de gestão visual da Manufatura Enxuta.

**Palavras-chave:** *Heijunka*, Planejamento e Controle, Produção Nivelada, Sistema *Kanban*.

## ABSTRACT

*Toyota, the biggest world wide automaker, has developed methods for Production Planning and Control, PPC, that have made feasible to improve the automakers' production chain, increasing the competitiveness among those companies by producing mixed models with less resources and less time spending. Indeed, previous research have found that those methods, grounded on Leveling Production concept, decrease Demand Amplification effects (Bullwhip Effect), which is caused, in some ways, by an independent management concept of a production chain. For this reason, Leveling Production decreases inventory throughout the whole supply chain, resulting in an increased customer's service level. However, based on recent research, Leveling Production has been applied outside automakers' production chains in a very incipient way. Moreover, existing research are focused on particular applications for mixed-models assembling lines sequencing, featuring very small production batch size. Regarding those exposed assumptions, this research presents a new method for developing Leveling Production that can be applied in repetitive manufacturing systems with batch production. Furthermore, it includes a framework for planning, designing and implementing of the proposed method. The main focus is helping both researchers and practitioners in a wide range of discrete repetitive manufacturing systems that represent relevant share of industrial sector. The proposed method includes products' prioritization, leveled production plan, Pitch increment and Kanban calculation. Finally, a case study has been done, and evidences have been found that the studied company has had deficient practices related to Production Planning and Control, on which Lean Manufacturing practices have been implemented over the past years. Hence, the new method has been applied in such company and results were listed based on two approaches: First of all, performance indicators of Costs (inventory), Speed (lead time), Mix flexibility (monthly Set up operations) and Reliability (service level) have been analyzed on both chart and trend analysis, before and after the implementation of the proposed method. Secondly, it has been compared against Lean Manufacturing principles that have been previously defined. Research findings indicate that the company has experienced performance improvement as well visual management practices of Lean Manufacturing have been implemented.*

**Keywords:** Heijunka; Kanban System; Leveling Production; Planning and Control.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. A COMPETITIVIDADE E A RELEVÂNCIA DA MANUFATURA ENXUTA

No mundo atual e globalizado, a manufatura de bens de consumo, dentre os diversos segmentos industriais, contribui com uma parcela significativa para o desenvolvimento da economia das nações. Isto ocorre por meio da formação de cadeias produtivas amplas, que podem abarcar diversos elos, desde a matéria-prima até os pontos de venda de atacado e varejo. Por conseguinte, empresas que atuam em mercados globais têm buscado o aumento da competitividade por meio da melhoria dos sistemas de manufatura e da utilização de métodos de planejamento e controle da produção, PCP, que visam o aumento do nível de serviço, com maior flexibilidade e rapidez (SLACK *ET AL*, 2002; GOUNET, 2002; JONES *ET AL*, 2004).

Nesse processo de adaptação de estratégias, até a década de 60, a produção em massa flexível foi o principal paradigma de PCP utilizado nas organizações industriais. Tais métodos eram direcionados à manufatura repetitiva de bens de consumo, cujos diferenciais competitivos eram baseados em custos, produtividade e qualidade (DAVIS *ET AL*, 2001, GODINHO FILHO & FERNANDES, 2005).

A produção em massa flexível traz uma série de "vantagens aparentes" (SLACK *ET AL*, 2002; LIKER, 2005), resumidas nas duas características mais conhecidas:

- Economias de escala em departamentos de produção especializados: quanto maior o volume de produção, menor o custo unitário do item. Assim, o conceito de "eficiência" em processos, limita-se à maximização da utilização da capacidade instalada, produzindo em lotes, gerando acúmulo de estoque em todo o fluxo de produção;
- As atividades são programadas de forma centralizada e independente. Assim, cada etapa produtiva "empurra" a sua produção para a próxima sem levar em consideração a sincronização do fluxo dos materiais. Nesse caso, o sistema de controle, que é concebido como "empurrado", gera acúmulo de estoques intermediários causado pela "espera de lote", tanto de produção como de transporte, em detrimento do desempenho do sistema como um todo.

Contudo, à medida que as cadeias produtivas tornavam-se globais e com conseqüente aumento da variedade dos produtos ofertados, os métodos tradicionais de PCP já não conferiam o mesmo desempenho desejado em mercados competitivos com crescimento lento (OHNO, 1997; HOPP & SPEARMAN, 2004). Logo, em decorrência da redução da eficácia dos sistemas tradicionais de PCP face aos novos requisitos de mercado, a Manufatura Enxuta surge como um novo paradigma. Esta, originada a partir da década de 50, no Japão, baseada no sistema de produção da *Toyota*, se tornou conhecida nas nações ocidentais, no final da década de 80, a partir dos trabalhos publicados pelo *International Motor Vehicle Program*, IMVP, e sintetizados no livro “A máquina que mudou o mundo” (HOPP & SPEARMAN, 2004; JONES ET AL, 2004).

A partir daquelas publicações, foi possível compreender como a *Toyota* realizou as modificações no sistema de produção. Logo, constatou-se que a Manufatura Enxuta se iniciou a partir da reformulação dos métodos tradicionais de PCP, e são usualmente conhecidos pelos termos “Produção Nivelada” ou “Sistema Puxado Nivelado” (SLACK ET AL, 2002; SMALLEY, 2004).

Para a *Toyota*, a Produção Nivelada consiste em distribuir a produção de modelos variados ao longo do tempo, em lotes de produção de tamanhos reduzidos, permitindo o direcionamento das ações focalizadas no aumento da flexibilidade, rapidez e estabilidade do sistema de produção (MONDEN, 1981; SLACK ET AL, 2002). Tal método iniciou-se com a combinação dos conceitos conhecidos como Nivelamento da Produção (*Heijunka*) e a Produção Puxada (Sistema *Kanban*) (SLACK ET AL, 2002; LIKER & MEIER, 2007).

O Sistema *Kanban*, desenvolvido na década de 50 partindo do modelo de reposição de estoques do supermercado norte-americano. Assim, autoriza a liberação de ordens de produção de forma sincronizada ao atendimento à demanda na linha de montagem final, mantendo os níveis de estoques em processo controlados. Logo, a produção em cada estágio produtivo fica limitada ao reabastecimento dos supermercados em quantidades menores, com tempo de atravessamento (*lead time*) reduzido (KIMURA & TERADA, 1981; MONDEN, 1998).

Na década de 70, o conceito de nivelamento da produção (*Heijunka*) foi desenvolvido como um refinamento da seqüência diária de produção nas linhas de montagem final, em decorrência do aumento da variedade dos produtos nas fábricas da *Toyota*. Desse modo, o objetivo

principal do *Heijunka* é obter uma distribuição mais uniforme da gama de produtos ao longo do dia de produção (FUJIMOTO, 1998; KOYDE & IWATA, 2007).

A Produção Nivelada representa uma mudança de paradigma na gestão dos recursos de produção. Com isto, a Manufatura Enxuta apresenta vantagens reais sobre a produção em massa flexível, em termos de desempenho, tais como níveis menores de estoque em processo e menor tempo de atravessamento (*lead time*). Soma-se a isso, a qualidade dos processos é aumentada em sistemas de Manufatura Enxuta, pois lotes menores de produção aumentam a rapidez tanto na detecção dos defeitos como na solução dos problemas de fabricação de forma definitiva (COLEMAN & VAGHEFI, 1994; BAKER, 1994; HOPP & SPEARMAN, 2004).

### 1.1.1. Contextualização do problema: o modelo geral de PCP e a Produção Nivelada

Em sistemas de produção em massa flexível, a natureza das decisões sobre o PCP depende do horizonte de tempo considerado, ou seja, o período à frente do tempo atual. Nesse contexto, um modelo geral de PCP pode ser representado associando atividades específicas aos três níveis de decisão (Estratégico, Tático, Operacional), de acordo com a **figura 1.1**:

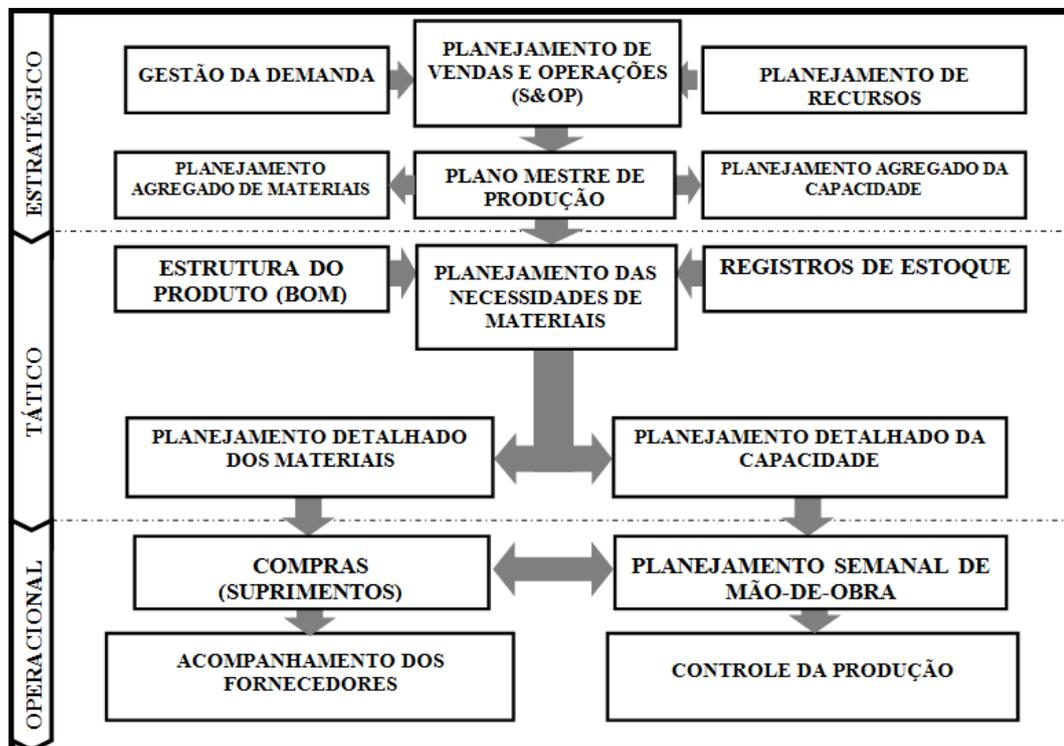


Figura 1.1 – Modelo geral de planejamento e controle da produção. Fonte: adaptado de Vollmann *et al* (2006).

Os três níveis estão relacionados ao horizonte de planejamento, à medida que se dirige do nível estratégico ao operacional. Assim, são definidos:

- a) *Estratégico*: Relacionado ao nível de planejamento de longo prazo da produção, inclui as atividades de Planejamento de Vendas e Operações (*Sales & Operations Planning, S&OP*) e compreende as entradas que geram o Plano Mestre da Produção, PMP;
- b) *Tático*: Corresponde ao médio prazo e abrange o processamento das informações derivadas do PMP, para daí, em linhas gerais, elaborar os planos de materiais e de capacidade por meio de *softwares* de Planejamento das Necessidades de Materiais (*Materials Requirement Planning, MRP*). Neste estágio, as necessidades de compras dos materiais são determinadas, além da provisão de mão-de-obra, estoques e equipamentos.
- c) *Operacional*: Relacionado ao horizonte de curto prazo e consiste no planejamento da mão-de-obra e na programação e controle da produção, bem como no acompanhamento do fornecimento externo de materiais. Inclui as atividades de carregamento, sequenciamento, programação, liberação de ordens e controle diário da produção.

Estas decisões tornam-se mais difíceis à medida que aumenta a complexidade da cadeia de suprimentos, isto é, aumento da variedade de produtos, das incertezas da demanda do mercado consumidor e da quantidade de elos produtivos. Diante dessas definições, o Departamento de Vendas de uma empresa pode gerir a demanda externa do cliente por meio da análise da carteira de pedidos (*backlog*) e dos dados gerados a partir de métodos de previsão de demanda. Logo, o sistema de informações, geralmente um *software* de MRP, permite o registro dos prazos de entrega aos diversos clientes, gerando informações atualizadas que servirão de base para o programa de produção (SLACK ET AL, 2002).

Outra forma de atender à demanda ocorre por meio das políticas de vendas centradas no preço dos produtos finais. Por exemplo, o departamento de Vendas fornece descontos para pedidos em volumes grandes, para atender às metas corporativas de vendas. Isto provoca, na prática, tanto a elevação dos níveis do estoques dos consumidores primários bem como picos de produção aos limites máximos da capacidade instalada. Esta “demanda artificial” ocorre geralmente em final de período (mês, trimestre, etc.), e provoca mudanças de última hora nos planos de produção e alteração das prioridades. Logo, este cenário causa instabilidade interna muito intensa, relacionada ao Efeito Forrester (SLACK ET AL, 2002; TOWILL ET AL, 2007).

O efeito Forrester ou “amplificação da demanda”, estudado matematicamente por Jay Forrester na década de 60, explica a variabilidade da demanda do cliente final que é amplificada e transmitida dos clientes finais aos processos iniciais da cadeia de suprimentos. Surpreendentemente, este fenômeno é causado por mecanismos internos ao sistema de produção, mesmo em mercados caracterizados por demanda estável (TOWILL *ET AL*, 2007). O efeito Forrester ocorre, em parte, devido à dificuldade de se estabelecer um fluxo de produção mais estável na produção de modelos variados, reduzindo o tempo de resposta à variação da demanda (SLACK *ET AL*, 2002; JONES *ET AL*, 2004).

Outras causas comumente apontadas para a ocorrência do Efeito Forrester consistem no gerenciamento independente das taxas de produção e da utilização de capacidade, as incertezas da demanda, pedidos em lotes e tempos de atravessamento elevados, características típicas do sistema de produção em massa flexível (SLACK *ET AL*, 2002; TOWILL *ET AL*, 2007). Consequentemente, os estoques também são gerados ao longo dos estágios produtivos.

Embora os estoques sejam vistos como garantia do atendimento aos clientes, no curto prazo, podem implicar prejuízos no longo prazo. Isto se deve ao fato de que as empresas que adotam a manutenção dos estoques estão susceptíveis aos riscos associados à manutenção destes. Por exemplo, caso haja queda nas vendas, produtos estocados implicarão utilização de capital de giro, aumento do espaço ocupado e perda de receitas devido à obsolescência do próprio estoque (ETIENNE, 2005).

Analisando por esse ponto de vista, o efeito sobre o sistema caracteriza-se como um ciclo vicioso, no qual as soluções utilizadas para resolver os problemas imediatos gerados pela gestão independente dos elos promovem melhorias pontuais, que provocam a ocorrência de mais problemas no longo prazo (SLACK *ET AL*, 2002).

Por essa razão, a “demanda artificial” oriunda das políticas de Vendas afeta diretamente o desempenho da organização, e, no contexto do PCP, a Produção Nivelada é a condição inicial para se estabelecer um ciclo virtuoso (SLACK *ET AL*, 2002; SMALLEY, 2004), no qual as ações para a realização de mudanças estruturais são voltadas para a eliminação dos problemas de forma definitiva.

A Produção Nivelada possibilita as seguintes alterações no sistema de produção (PARK, 1993; COLEMAN & VAGHEFI, 1994; SHINGO 1996):

- Permite fabricar tipos diferentes de modelos em um curto período de tempo;
- Possibilita manter níveis menores de estoques em toda a fábrica, incluindo os processos internos e externos;
- Contribui para a eliminação da superprodução, reabastecendo apenas os estoques dos produtos vendidos, nas quantidades exatas e no momento certo.

Assim, o fluxo de produção tenderá a se estabilizar em toda a cadeia produtiva, atenuando a amplificação da demanda (KIMURA & TERADA, 1981). Isto é obtido em função do estoque de produtos acabados corretamente dimensionado, além de uma produção em lotes de tamanhos reduzidos. Por isso, este é muito menos sensível ao efeito Forrester em comparação ao sistema empurrado, e sua sensibilidade decresce com a redução do tamanho dos lotes e do *lead time* de produção (KIMURA & TERADA, 1981; MONDEN, 1998; HINES *ET AL*, 2004).

## 1.2. QUESTÃO DA PESQUISA

Em termos gerais, a questão da pesquisa baseia-se no interesse de estudo de oportunidades de pesquisa referentes às lacunas existentes na literatura. Por exemplo, diversos estudos sobre o nivelamento da produção abordam problemas relacionados às linhas de montagem, que apresentam características particulares, típicas das cadeias produtivas automobilísticas. Inclusive, levou-se em consideração tanto a possibilidade de contribuição à discussão sobre o caráter genérico da Manufatura Enxuta, como a aplicabilidade da Produção Nivelada em sistemas de produção em lotes.

No que se refere às pesquisas sobre o nivelamento da produção, foram encontradas diversas publicações sobre modelos conceituais (MONDEN, 1998; FUJIMOTO, 1998; SLACK *ET AL*, 2002; SMALLEY, 2004; LIKER, 2005; LIKER & MEIER, 2007; KOYDE & IWATA, 2007) e algoritmos para o sequenciamento da produção em linhas de montagem (KOTANI *ET AL*, 2004; BAUTISTA & CANO, 2007; BOYSEN *ET AL*, 2007). Porém, tais métodos representam condições particulares, a exemplo do método proposto por Smalley (2004), o qual consiste na aplicação teórica da Produção Nivelada em um fluxo de valor caracterizado por uma célula de montagem, com produção em lotes reduzidos. Neste caso, foram identificadas duas limitações neste método.

A principal limitação ocorre por ser um método simplificado e não proporcionar a noção clara de como implantar a Produção Nivelada em sistemas de fabricação, nos quais os volumes diários de produção de modelos variados correspondem a lotes com ordem de grandeza de dezenas ou centenas de milhares de peças fabricadas. Além disso, o método não considera que, em sistemas de fabricação com produção por lotes, restrições técnicas nos processos produtivos impedem a redução significativa dos tamanhos dos lotes de produção.

Por exemplo, determinados processos de fabricação apresentam maior viabilidade técnica ou econômica quando operados em lotes, tais como os processos de estampagem ou corte de peças, cujas matérias-primas se apresentam na forma de bobinas, chapas, tarugos, entre outros, nos quais não é possível produzir lotes unitários. Além disso, também são operados em lotes os processos de sinterização do pó e injeção e moldagem de plásticos, cujas matérias-primas se apresentam na forma de material a granel, como os pós, pelotas, granulados, entre outros.

Suportando essa linha de pensamento, deve-se levar em consideração a existência de uma ampla variedade de sistemas de manufatura repetitiva, ou seja, empresas fabricantes de produtos padronizados com variedade de produtos. Logo, ressalta-se que nem sempre é viável produzir em lotes de tamanhos reduzidos, tal como ocorre em linhas de montagem. Por conseguinte, a produção em lotes representa uma alternativa plausível, tanto do ponto de vista da gestão da mão-de-obra, quanto dos fluxos de materiais, no que tange às relações de fornecimento entre empresas (COONEY, 2002). Logo, a lacuna apontada refere à possibilidade de implantação da Produção Nivelada em sistemas de fabricação com produção em lotes.

Outra oportunidade concernente à limitação das pesquisas existentes está centrada na discussão sobre o caráter genérico da Manufatura Enxuta representa uma oportunidade de se avaliar a sua aplicabilidade em outros segmentos industriais (GODINHO FILHO & FERNANDES, 2004), considerando as particularidades de cada sistema produtivo. Por outro lado, existe uma linha de pensamento que considera que tais práticas sejam pouco eficazes ou, em determinados casos, até mesmo inviáveis em cadeias produtivas com características de mercado instável, das quais se exclui o segmento automobilístico (NEWMAN & SRIDHARAN, 1995). Assim, esta dissertação busca contribuir para o debate sobre a generalidade das práticas da Manufatura Enxuta fora das cadeias produtivas automobilísticas.

Em suma, os argumentos apresentados corroboram a oportunidade de implantar a Produção Nivelada em sistemas de manufatura repetitiva com produção em lotes, de modo a contribuir com novas pesquisas sobre a Manufatura Enxuta fora do segmento automobilístico. Logo, são suficientes para motivar a realização desta dissertação, e, com base no exposto previamente, identificou-se, como pressuposto básico da pesquisa, a necessidade de desenvolver um método de PCP utilizando o conceito de Produção Nivelada em sistemas de manufatura repetitiva com produção em lotes. Logo, formulou-se o seguinte problema de pesquisa:

*“Quais são as etapas e os critérios necessários para se planejar, calcular e implantar a Produção Nivelada em sistemas de manufatura repetitiva com produção em lotes?”*

### **1.3. OBJETIVOS**

Com base nos argumentos apresentados, nas lacunas encontradas na literatura e no problema de pesquisa, este trabalho tem o seguinte objetivo:

- Desenvolver e validar um método de planejamento, cálculo e implantação da Produção Nivelada em uma manufatura repetitiva de bens de consumo, cujas operações de fabricação ocorrem em lotes.

Para garantir o alcance do objetivo geral, os objetivos específicos foram definidos:

- 1) Apresentar uma revisão bibliográfica sobre os conceitos básicos da Manufatura Enxuta, dos métodos de PCP e da Produção Nivelada;
- 2) Apresentar o método proposto, partindo da análise crítica dos elementos teóricos encontrados na literatura, bem como apresentar os princípios básicos que definem uma Produção Nivelada;
- 3) Apresentar as etapas necessárias para a implantação da Produção Nivelada, orientada aos sistemas de manufatura repetitiva com produção em lotes. Estes sistemas são descritos no **Apêndice A**;
- 4) Apresentar a pesquisa de campo para a validação do método, iniciando-se pela metodologia da pesquisa e, por meio de um estudo de caso, analisar as práticas atuais de uma empresa de manufatura de bens de consumo no estado de São Paulo, relacionan-

do-as aos princípios básicos do método proposto; apresentar a aplicação do método para a implantação da Produção Nivelada na referida empresa;

5) Analisar os resultados e apresentar as conclusões e recomendações para pesquisas.

#### *1.4. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO*

O foco do trabalho está nos horizontes de planejamento de médio e curto prazo, correspondentes às decisões táticas e operacionais, respectivamente. Além disso, os sistemas de fabricação considerados neste trabalho abarcam o conceito de manufatura repetitiva discreta, com produção em lotes, dentre os listados no **Apêndice A**.

Vale destacar que, inclusive, que o trabalho focaliza a estratégia de posicionamento de produtos “produzir para estoque” (*make-to-stock*), pois se buscou analisar os sistemas de manufatura repetitiva que geram produtos padronizados. Buscou-se ainda analisar as decisões de PCP em um único processo do fluxo de valor estudado, conhecido como o “processo puxador”, levando-se em consideração a abordagem de implantação gradual das práticas da Manufatura Enxuta.

#### *1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO*

O trabalho foi organizado em capítulos conforme a seguinte divisão:

##### **Capítulo 1: Introdução**

Corresponde a este capítulo, no qual estão definidos: a contextualização do problema de pesquisa, a questão de pesquisa, bem como os objetivos e delimitações do trabalho.

##### **Capítulo 2: Revisão Bibliográfica**

Realizou-se uma revisão bibliográfica sobre dos temas relacionados à pesquisa, tais como: a Manufatura Enxuta, Planejamento e Controle da Produção, Nivelamento da Produção e Sistema *Kanban*. Como material complementar, o **Apêndice A**, que trata dos tipos de operações de fabricação em lotes e os conceitos básicos de Manufatura Repetitiva; e o **Apêndice B**, que abrange os objetivos e os indicadores de desempenho.

### **Capítulo 3: Descrição do método proposto**

Este capítulo apresenta as atividades necessárias para o planejamento, cálculo da Produção Nivelada, além da definição das etapas necessárias para a sua implantação em sistemas de manufatura repetitiva com produção em lotes.

### **Capítulo 4: Pesquisa de Campo para a validação do método**

Neste capítulo serão apresentadas a metodologia da pesquisa e a pesquisa de campo utilizada para a validação do método, na forma de um estudo de caso, em uma empresa de manufatura de bens de consumo, do Estado de São Paulo.

### **Capítulo 5: Verificação dos resultados da aplicação do método**

Este capítulo apresenta as análises dos principais resultados obtidos na empresa pesquisada, incluindo a medição do desempenho utilizando os indicadores listados no **Apêndice B**, antes e depois do projeto piloto, bem como à comparação aos elementos teóricos apresentados.

### **Capítulo 6: Conclusões**

No capítulo final, serão discutidas as conclusões obtidas com a pesquisa, bem como as recomendações para pesquisas.

## CAPÍTULO 2

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. A MANUFATURA ENXUTA E A PRODUÇÃO NIVELADA

Este capítulo apresenta o objetivo específico referente à elaboração da revisão bibliográfica, a partir da qual serão apresentados os objetivos e classificação da Manufatura Enxuta. Em seguida, descreveram-se os elementos principais que compõem o modelo geral de PCP, bem como um modelo sugerido para a representação das práticas de PCP da Manufatura Enxuta. Estes servirão como referência para a apresentação dos componentes da Produção Nivelada, que abrangem os conceitos do Plano Nivelado, Sistema *Kanban*, fluxo de valor e processo puxador, e servirão de fundamento para a elaboração do método proposto.

Em seguida, o método teórico para planejamento e cálculo proposto por Smalley (2004) será apresentado e analisado criticamente. Embora este método represente a base para esta dissertação, foram evidenciadas limitações, que dificultam a sua compreensão quanto à aplicabilidade em sistemas de fabricação com produção em lotes. Estes sistemas estão apresentados no **Apêndice A**. Finalmente, serão delineados os princípios e as políticas que direcionam o funcionamento da Produção Nivelada, e que serão utilizados na avaliação da empresa no estudo de caso, que será apresentada no capítulo 4.

#### 2.2. OS OBJETIVOS DA MANUFATURA ENXUTA

O objetivo principal da Manufatura Enxuta é a maximização dos lucros, gerando maior valor para o cliente final, por meio da redução dos custos associados aos desperdícios do sistema de produção, mantendo um mínimo de estoque em processo. Em outras palavras, a atenção deve estar voltada para o cliente, pois a flexibilidade é ditada pelo mercado, que exige mais nichos, maior variedade e maior rapidez (MONDEN, 1998; JONES & WOMANCK, 2004; NIIMI, 2004).

Em termos práticos, a Toyota enfatiza a melhoria dos processos, produtos, métodos de trabalho, fornecedores e das atividades de apoio à produção (SHINGO, 1996; SLACK, 2002; JONES & WOMACK, 2004). Para tal, busca-se estabelecer um fluxo contínuo de materiais em um sistema de manufatura repetitiva de modelos variados, aumentando a produtividade e a e-

ficácia. A primeira se dá pela busca e eliminação incessante dos desperdícios em toda a cadeia produtiva. A segunda, por sua vez, ocorre quando se busca reduzir o tamanho dos lotes e aumentar a frequência de reposição dos estoques para aumentar a rapidez e a flexibilidade, bem como a confiabilidade do sistema (MONDEN, 1998; JONES & WOMACK, 2004).

### **2.2.1. Princípios de gestão dos processos enxutos: o Modelo Toyota**

Dentre os diversos modelos disponíveis na literatura, é possível definir a Manufatura Enxuta como um conjunto de princípios de gestão empresarial (LIKER, 2005). Neste caso, o “modelo Toyota”, é dividido em quatro elementos básicos baseados nos quatro P’s: Filosofia (*Philosophy*), Processos (*Process*), Pessoas, Parceiros e Fornecedores (*Partners*) e Solução de Problemas (*Problem Solving*):

- Filosofia

A Toyota reitera o desenvolvimento das relações de confiança mútua entre funcionários e empresa, e reforça o compromisso com o respeito e a responsabilidade social, mesmo em momentos de dificuldades financeiras. Logo, o primeiro princípio é apresentado da seguinte forma:

*1º: Basear as decisões gerenciais em uma filosofia de longo prazo, mesmo em detrimento das metas financeiras de curto prazo.*

- Processos

Em termos práticos, a Toyota considera que os processos corretos irão produzir os resultados certos. Logo, leva-se em consideração que a eliminação de desperdícios é o coração da Manufatura Enxuta, uma vez que os processos devem estar orientados para a melhoria contínua. (LIKER, 2005). Nesse contexto, os sete princípios de gestão dos processos enxutos são delineados:

*2º: O fluxo contínuo traz os problemas à tona.*

*3º: Utilize sistemas puxados para evitar a superprodução.*

*4º: Nivele a produção (Heijunka).*

5°: *Crie a cultura de parar e resolver os problemas para obter qualidade na primeira vez.*

6°: *Padronize as tarefas como base para a melhoria contínua e a autonomia dos funcionários.*

7°: *Utilize controles visuais para expor os problemas e melhorar o fluxo de produção.*

8°: *Utilizar tecnologias confiáveis que sirvam aos processos e às pessoas e criar valor.*

- **Pessoas e parceiros.**

A Manufatura Enxuta considera que a agregação de valor à organização é assegurada por meio do desenvolvimento de funcionários e parceiros (LIKER, 2005). Em outras palavras, os três princípios de gestão associados aos “parceiros” são listados:

9°: *Desenvolva líderes que compreendam o trabalho, vivam a filosofia e ensine aos outros,*

10°: *Desenvolva funcionários e equipes de trabalho,*

11°: *Respeite a sua cadeia de parceiros e fornecedores, desafiando-os e ajudando-os a melhorar.*

- **Solução de problemas.**

Para a *Toyota*, o meio segundo o qual é possível transformar uma empresa em uma organização de aprendizado é a solução contínua de problemas (LIKER, 2005). Isto posto, os três últimos princípios de gestão são descritos:

12°: *Vá e veja você mesmo para compreender a situação (Genchi Genbutsu),*

13°: *Tome decisões lentamente baseadas em consenso, analisando todas as possibilidades e implemente as ações rapidamente,*

14°: *Torne-se uma organização de aprendizado, por meio da “reflexão incansável” (Hansei) e da melhoria contínua (Kaizen).*

Depois de apresentados os catorze princípios de gestão, a descrição dos princípios de gestão dos processos enxutos auxiliará a elaboração dos princípios da Produção Nivelada, que serão

abordados no final deste capítulo. Na próxima seção, serão apresentados os principais elementos e práticas que constituem a Manufatura Enxuta.

### **2.2.2. A classificação da Manufatura Enxuta**

No contexto apresentado anteriormente, e em um significado mais amplo, a Manufatura Enxuta pode ser classificada como uma filosofia de produção, um conjunto de técnicas de gestão da produção e um método de planejamento e controle da produção, que requerem resultados elevados em cinco objetivos de desempenho: flexibilidade, qualidade, rapidez, confiabilidade e custos (SLACK *ET AL*, 2002).

Primeiramente, do ponto de vista da filosofia de produção, a Manufatura Enxuta busca eliminar os desperdícios que geram aumento do tempo de atravessamento (*lead time*), além de buscar o envolvimento dos funcionários e obter qualidade perfeita por meio do aprimoramento contínuo (OHNO, 1997):

- (a) Superprodução: produzir além do necessário ou, de forma antecipada. Representa o pior desperdício, uma vez que dele decorrem os outros;
- (b) Esperas e filas: associado à ociosidade do material em uma fila de produção ou de transporte, decorrente do tamanho dos lotes de produção e de transporte;
- (c) Transporte: deslocamento físico dos materiais entre as etapas produtivas;
- (d) Processamento: relacionado à tecnologia ou atividades intermediárias que não agregam valor ao produto;
- (e) Estoque: acúmulo de matérias-primas, estoques em processo ou produtos finais acabados;
- (f) Movimentação: atividade corporal e caminhada de operadores;
- (g) Qualidade: reprocessamento ou descarte de peças fora de especificação.

O envolvimento dos funcionários é obtido ao se estabelecer diretrizes que abrangem toda a empresa e os processos na organização, uma vez que a base da Manufatura Enxuta é o estabelecimento de uma cultura organizacional voltada à participação conjunta na solução dos pro-

blemas diários, por meio da rotação de cargos e multi-habilidades. Tal cultura é bastante adequada ao alcance dos objetivos estratégicos da empresa, que busca constantemente elevados níveis de engajamento, motivação e senso de responsabilidade pelo trabalho.

O aprimoramento contínuo, por sua vez, está relacionado ao objetivo de alcançar níveis ideais de desempenho dos processos produtivos e administrativos. Assim, resultados satisfatórios obtidos são constantemente superados tendo em vista ações de melhoria contínua, simplificação de processos e solução de problemas.

Analisando a Manufatura Enxuta como um conjunto de técnicas para a administração da Produção, destacam-se, dentre outras, as práticas básicas de trabalho, o arranjo físico e o fluxo, a redução dos tempos de preparação das máquinas, a visibilidade e o fornecimento *Just-in-time*. As técnicas principais são então resumidas:

(a) Práticas básicas de trabalho: estas técnicas formam a preparação básica para a organização e seus funcionários, sendo fundamentais na implantação da Manufatura Enxuta. Dentre as principais práticas, destacam-se:

- Disciplina para obedecer aos padrões de trabalho relacionados à qualidade dos produtos e aos requisitos de segurança dos funcionários,
- Flexibilidade de pessoas no que tange à qualificação profissional nos três níveis hierárquicos (estratégico, tático e operacional),
- Autonomia relacionada à delegação de responsabilidades ao chão-de-fábrica (nível operacional), principalmente nas tarefas de programação da produção, coleta de dados e resolução de problemas. Entretanto, a autonomia é limitada por objetivos bem delineados, regras claras e fluxos de informações inequívocos.

(b) Foco na produção: o conceito por trás desta técnica diz que a simplicidade, a repetição e a experiência trazem a competência (SKINNER, 1978 apud SLACK *ET AL*, 2002). Com isto, o foco na manufatura consiste em:

- Utilizar o conceito das subfábricas focalizadas em um conjunto amplo e gerenciáveis de famílias de produtos, tecnologias, volumes de produção e mercados consumidores. Este conceito é conhecido como fluxo de valor (JONES *ET AL*, 2004),

- Aprender a estruturar políticas básicas de manufatura e serviços de suporte, de modo a focalizar em uma única missão de manufatura, em vez de muitas missões implícitas e conflitantes. Isto ocorre ao se gerir uma empresa de modo único, adotando critérios iguais em ambientes de produção diferentes.
- (c) Arranjo físico e fluxo: estas técnicas visam melhorar os fluxos de materiais, pessoas e informações ao longo do sistema de produção (fluxo de valor) e são de extrema importância para a Manufatura Enxuta;
- (d) Redução do tempo de preparação (*Set up*): o tempo de preparação é o tempo total decorrido entre o final da produção de um modelo de produto, passando pelas etapas de ajuste e preparação das máquinas até o início da produção de outro modelo de produto. Assim, este conceito é a base para a redução dos tamanhos dos lotes de produção, que viabilizam o nivelamento da produção.
- (e) Visibilidade: técnicas de gestão visual são desenvolvidas e aplicadas ao local de trabalho para tornar visíveis as condições normais de operação, e, conseqüentemente, facilitar a detecção de problemas no exato momento em que ocorrerem. Assim, sistemas de baixo custo podem ser utilizados, incluindo o *Kanban*, a sinalização *Andon*, os gráficos de controle, as áreas demarcadas no piso para armazenagem de materiais em quantidade limitada, entre outras.

Finalmente, Slack *et al* (2002) classificam a Manufatura Enxuta como um método de planejamento e controle da produção e, uma vez que esta definição forma a parte central desta dissertação, será detalhada nas seções seguintes.

### 2.3. MODELO GERAL DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

#### 2.3.1. A abordagem tradicional de nivelamento da produção

Em sistemas de manufatura tradicionais, a Produção Nivelada (*Leveling Production*) nivela o volume máximo de produção em um horizonte de tempo, geralmente meses. Para tal, mantém a capacidade constante, utilizando estoques de segurança para absorver pequenas flutuações da demanda. Nesse contexto, picos de demanda requerem capacidade extra, geralmente, sob a

forma de horas extras, subcontratação de serviços, ou requer alterações dos prazos de entrega (DAVIS *ET AL*, 2001; SLACK *ET AL*, 2002).

Por essa razão, na abordagem tradicional, em diversos ambientes de negócio, os níveis de estoque irão divergir, bem como a rapidez e a flexibilidade do sistema de produção, a depender da estratégia de posicionamento dos produtos. Estas abrange três opções (SLACK *ET AL*, 2002):

1. Produzir para estoque (*make-to-stock*): visa atender à demanda diretamente do estoque de produtos acabados. Ajusta-se às vendas de produtos padronizados em grande volume;
2. Produzir sob encomenda (*make-to-order*): busca o atendimento à demanda mantendo estoque das matérias-primas e estoque em processo, de forma que a fabricação dos produtos finais ocorre mediante a confirmação dos pedidos dos clientes. Este é mais indicado às vendas de grande variedade e pouco volume;
3. Montar sob encomenda (*assembly-to-order*): a produção é antecipada até os subcomponentes modulares, adiando a data de montagem até que se tenha pedidos firmes e customizados. Em geral, se aplica a uma grande variedade de produtos finais.

Ao definir as estratégias de posicionamento de produtos, a empresa utiliza dados de previsões de vendas para balizar a sua produção, isto é, estimativas da demanda futura com base na demanda histórica e pesquisas de mercado. Neste caso, os estoques são vistos como um suporte ao plano estratégico da empresa (DAVIS *ET AL*, 2001; GAITHER & FRAZIER, 2002). No entanto, visto que a demanda sofre variação mensal, função das incertezas do mercado, as previsões estarão sujeitas a uma margem de erro, implicando excesso de estoques ou falta de produtos para a venda.

A partir das decisões sobre estoques, o Plano Mestre de Produção, PMP, é um sistema de informações que fornece as bases para a melhor utilização dos recursos da organização, cumprindo as promessas de entrega aos clientes, resolvendo as compensações entre vendas e produção e alcançando os objetivos estratégicos da empresa (VOLLMANN *ET AL*, 2006).

As entradas do PMP devem incluir dados de previsão de demanda, pedidos firmados em carteira, pedidos de peças de reposição, testes em protótipos, peças para exposição em feiras de

negócios, necessidades de estoques de proteção, restrições de capacidade ou qualquer outro tipo de informação que seja relevante para que o sistema de produção possa ser programado em termos de capacidade, recursos e metas de produção (SLACK ET AL, 2002).

O PMP é composto por registros em escala de tempo, geralmente semanas, ou dias, que contém, para cada produto final, as informações de demanda e de estoque disponível atuais. A partir dessas informações, o estoque é projetado à frente do tempo e, caso este não seja suficiente para atender à demanda futura, ordens de produção serão inseridas no PMP.

A partir do PMP e de um *software* de Planejamento das Necessidades de Materiais (*Materials Requirement Planning*, MRP), as informações do sistema de produção são inseridas para gerar uma estimativa detalhada (desagregada) de consumo dos diversos itens que compõem cada produto final. Tais informações são (SLACK ET AL, 2002):

- a) Dados da estrutura dos produtos. A chamada "explosão das listas de materiais" (*Bill of Materials*, BOM) visa determinar as quantidades de materiais derivadas da fabricação e montagem de cada produto final, divididas em quatro níveis: Produtos finais acabados (0), submontagens (1), peças (2) e matérias-primas (3);
- b) Registros atualizados dos níveis de estoque: inclui a localização (arquivo de locais), descrição (arquivo de itens), níveis de estoque e balanço da movimentação (arquivo de transações);
- c) *Lead time* de produção de cada estágio: tempo de corrido entre a emissão da ordem de produção e a entrega do item;
- d) Níveis de qualidade (fração defeituosa): percentual de peças defeituosas, ou seja, que não atendem às especificações de utilização (função, aparência, dimensões e forma);
- e) Disponibilidade de equipamentos: percentual do tempo disponível para produção em que os equipamentos e processos estão aptos a produção.

De posse dessas informações, a organização pode determinar exatamente, o quê, quanto e quando emitir as ordens de produção de cada item que compõe os produtos finais, de forma a aumentar a utilização da capacidade de cada estágio, honrando os prazos de entrega com cada

cliente. Em seguida, depois de estabelecer essas decisões, o MRP requer as seguintes informações para a elaboração do planejamento da capacidade (VOLLMANN *ET AL*, 2006):

1. Carga: volume de produção alocado a um centro de trabalho, célula de manufatura, processo ou departamento,
2. Capacidade: relacionada à taxa de produção, geralmente expressa em peças/hora ou peças/dia, ou em tempo de operação de processos, expressos em minutos ou horas,
3. Nível de Serviço: refere-se à probabilidade de atendimento de um pedido diretamente do estoque. Serve para avaliar a qualidade no atendimento aos consumidores.

Em seguida, o MRP “congela” os dados do PMP e gera as listas de ordens de produção e de compra de materiais, além dos planos de capacidade, geralmente para um horizonte de tempo semanal. Neste período, chamado de janela de tempo, alterações não são desejadas. Estas informações dão suporte às tomadas de decisão sobre a gestão dos materiais, da mão-de-obra, das máquinas e das instalações, servindo para programar ou apressar a compra de determinados materiais, alocar pessoal em hora extra, contratar pessoal terceirizado, entre outras providências. Em suma, as principais saídas do MRP são: planos detalhados de capacidade e de materiais, incluindo o planejamento para os fornecedores externos e o programa de montagem final, que é um compromisso de produção dos produtos finais em um dado período de tempo.

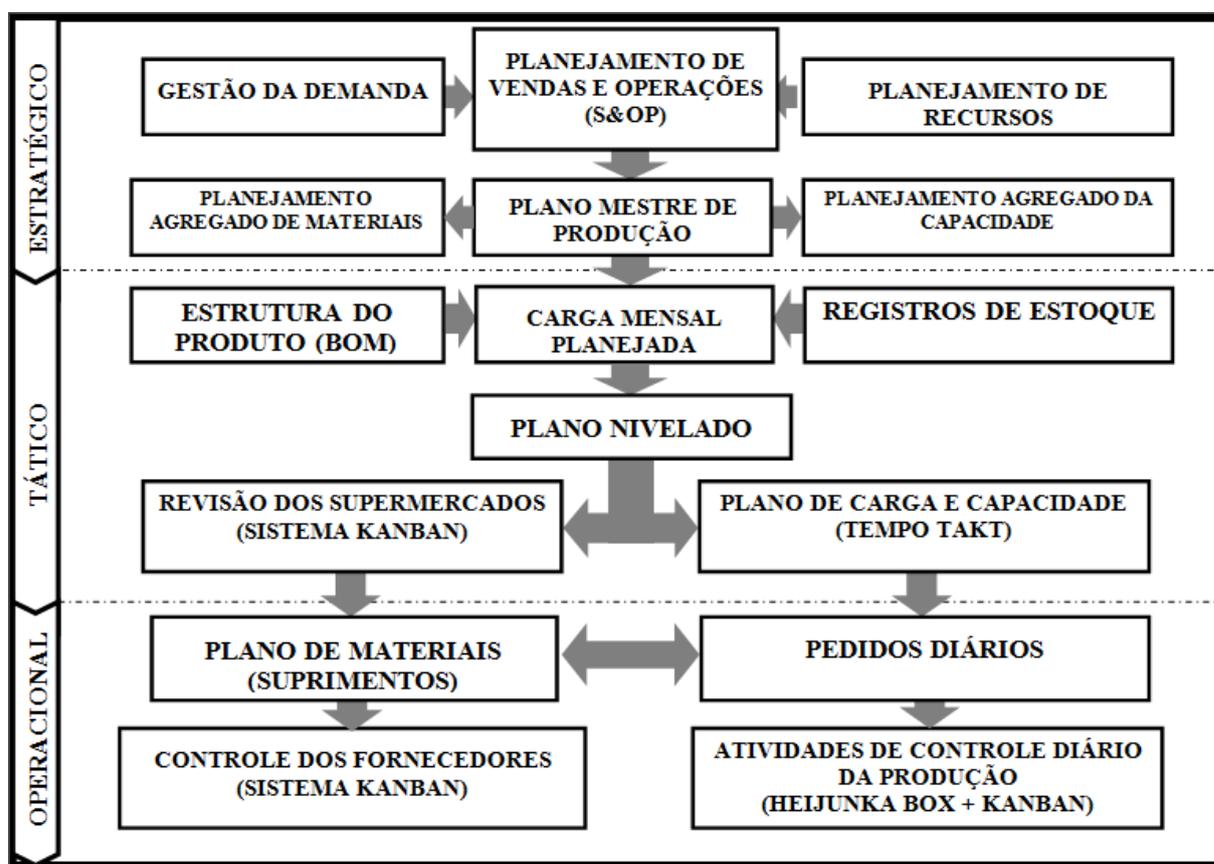
Embora seja utilizado vastamente em empresas de diversos segmentos, quanto maior a variedade de produtos, tanto maior será a complexidade das decisões entre produção e estoque oriundas do PMP. Esta lacuna será foco da análise dos métodos de PCP da Manufatura Enxuta, que está explicado na seção seguinte.

#### *2.4. OS MÉTODOS DE PCP NA MANUFATURA ENXUTA E A PRODUÇÃO NIVELADA*

O modelo de PCP apresentado nesta seção inclui as informações necessárias para a compreensão do conceito de Produção Nivelada enquanto método de planejamento e controle da produção. Logo, estes conceitos serão apresentados nas seções subsequentes.

### 2.4.1. Representação das práticas de PCP na Manufatura Enxuta

A diferença básica entre os métodos de PCP tradicional (**figura 1.1**) e da Manufatura Enxuta encontra-se no nível de médio e curto prazo (VOLLMANN *ET AL*, 2006). Por esta razão, o planejamento de longo prazo não será analisado neste trabalho. Logo, para um melhor entendimento de como o nivelamento é conduzido, toma-se como base, uma representação teórica dos métodos de PCP da Manufatura Enxuta, conforme a **figura 2.2**:



**Figura 2.2 – Representação geral do Planejamento e Controle da Produção da Manufatura Enxuta. Fonte: adaptado de Vollmann *et al* (2006).**

Em linhas gerais, o planejamento da produção em um sistema de Manufatura Enxuta compreende duas fases (MONDEN, 1998). A primeira, a adaptação mensal, isto é, o plano de produção de médio prazo, é determinado com base em previsões da demanda por diversos tipos de veículos. A segunda fase, chamada de adaptação diária, equivale ao plano de produção de curto prazo e abrange as atividades de programação e controle da produção.

### 2.4.2. O planejamento da produção de médio prazo

O planejamento de médio prazo se inicia a partir do plano mestre de produção, que serve de entrada para o plano nivelado, conforme visualizado na **figura 2.2**. A partir deste, a *Toyota* parte da simplificação da estrutura dos produtos (*Bill of Materials*, BOM) com vistas a obter menor quantidade de peças planejadas, ou seja, o planejamento detalhado dos materiais está na montagem final e não na estrutura do produto como um todo. Com isto, simplifica também o planejamento de mão-de-obra e os registros de estoques (VOLLMANN *ET AL*, 2006).

Com base na revisão do PMP, a *Toyota* dimensiona os estoques do fluxo de produção com base em estimativas de demanda para o próximo mês, além de realizar o planejamento da capacidade, iniciando-se com o balanceamento da linha de montagem, mediante o conceito de tempo *Takt*, de modo a determinar a quantidade de operadores (ROTHER & HARRIS, 2003).

Estas informações servirão de entradas para o planejamento de curto prazo, no qual a liberação de ordens diárias é atribuída ao Sistema *Kanban* a partir da linha de montagem. Esta recebe a programação diária, porém, os processos precedentes recebem as estimativas mensais para que possam se planejar em termos de capacidade e estoque, com base em um sistema de gestão da demanda dependente baseada na estrutura dos produtos (MONDEN, 1998).

### 2.4.3. O Plano Nivelado

Como parte do planejamento de médio prazo, o plano nivelado fornece as entrada tanto para o planejamento dos materiais quanto o plano de carga e capacidade, no modelo geral de PCP (vide **figura 1.1**). Tal conceito parte de uma demanda prevista para o mês e consiste na distribuição da gama de modelos (*mix*) ao longo do intervalo de tempo, geralmente menor que dez dias. Se o ritmo de consumo estiver nivelado, então o sinal de puxada para os fornecedores e processos anteriores à linha de montagem também estará. Assim, é possível manter níveis menores de estoques, pois o consumo torna-se mais previsível (LIKER E MEIER, 2007). Esta condição é a base para a operacionalização da Produção Nivelada.

O controle da produção em um ambiente de Manufatura Enxuta dispõe de dois instrumentos para conter a variação da demanda do cliente e realizar o nivelamento. Primeiramente, é necessário definir as estratégias de posicionamento dos produtos, isto é, dimensionar o estoque

de produtos acabados para os itens que são consumidos com maior frequência, combinando a utilizando a produção para estoque (*make-to-stock*). Para os itens menos consumidos, a fabricação sob encomenda (*make-to-order*) ou montagem sob encomenda (*assembly-to-order*).

Por último, os estoques de segurança são dimensionados para proteger o sistema dos picos de demanda e dos problemas causados por defeitos da Qualidade, quebra de máquinas, entre outros, aumentando a capacidade de atendimento à demanda por modelos variados. Além dessas informações, três decisões são necessárias ao nivelamento (SMALLEY, 2004; LIKER E MEIER, 2007):

1. O tamanho do lote, ou seja, a quantidade do produto a ser produzido em um intervalo específico de tempo.
2. A gama de modelos de produtos, que é a proporção dos diversos modelos que compõem uma família de produtos. Em outras palavras, é a combinação entre os modelos, A, B, C, etc.;
3. A sequência da produção, que é a ordem em que o volume e o *mix* de produtos são fabricados.

Em operações de fabricação, o tempo de *Set up* influencia o tamanho do lote, e, conseqüentemente, afeta as decisões de programação diária. Por essas razões, quanto maior a variedade de produtos e as particularidades dos sistemas de produção, o nivelamento torna-se cada vez mais difícil de implantar. Assim, a depender do estágio de implantação da Manufatura Enxuta no qual empresa se encontra, o ponto de partida pode ser lotes de produções maiores, equivalentes campanhas de produção que podem durar dias. Com o passar do tempo, ações devem ser tomadas para que os lotes sejam reduzidos gradualmente, por meio da redução dos tempos de preparação das máquinas e processos produtivos (SHINGO, 1996).

A partir desses conceitos, em linhas gerais, o “nivelamento do volume e do *mix*” consiste em distribuir a gama de modelos de produtos em um horizonte preferencialmente menor que dez dias, gerando um plano nivelado de produção (NIIMI, 2004; LIKER E MEIER, 2007). Com isto, é possível planejar, com base na capacidade disponível do sistema de produção, o ciclo de reposição dos diversos produtos e respectivos modelos. Neste cenário, uma visão geral de um plano nivelado de oito dias é ilustrada na **tabela 2.1:**

<b>Modelo</b>	<b>Ciclo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>Volume Total</b>
A	1D	250	250	250	250	250	250	250	250	2.000
B	1D	220	220	220	220	220	220	220	220	1.760
C	1D	210	210	210	210	210	210	210	210	1.680
D	2D	256	0	256	0	256	0	256	0	1.024
E	2D	0	250	0	250	0	250	0	250	1.000
F	2D	150	0	150	0	150	0	150	0	600
G	4D	0	240	0	0	0	240	0	0	480
H	4D	0	0	0	180	0	0	0	180	360
I	4D	180	0	0	0	180	0	0	0	360
J	4D	0	0	140	0	0	0	140	0	280
Outros	MTO	59	155	99	215	59	155	99	215	1.056
Carga	Total	1.325	1.325	1.325	1.325	1.325	1.325	1.325	1.325	10.600
Capacidade	Meta	1.325	1.325	1.325	1.325	1.325	1.325	1.325	1.325	10.600

**Tabela 2. 1 – Exemplo de um plano nivelado de produção para um intervalo de oito dias.**

**Fonte: adaptado de Liker & Meier (2007).**

Esta tabela apresenta um exemplo de plano nivelado com horizonte de oito dias. Na primeira coluna à esquerda, estão listados os modelos que fazem parte do plano, codificados por letras, de A a J. O modelo “outros” na verdade representa um grupo de modelos de demanda inferior, que são agrupados e produzidos sob encomenda (LIKER & MEIER, 2007).

A segunda coluna indica o ciclo de reposição planejado para os respectivos itens. Neste caso, verifica-se que há itens com ciclo diário (1D), a cada dois dias (2D) e a cada quatro dias (4D). Inclusive, as colunas numeradas de “1 a 8” referem-se aos dias produtivos do plano nivelado. Finalmente, a última coluna, “volume total”, representa a demanda (carga) planejada total de cada item no decorrer dos oito dias do plano. Esta demanda é definida com base em valores previstos para o próximo mês de produção.

Para definir o plano nivelado, é preciso selecionar o modelo cuja demanda total do período representa o maior valor dentre os modelos listados. Assim, este será considerado 100% e servirá como referência para o ciclo de reposição dos outros itens. No exemplo, o item A apresenta o maior valor de demanda total no período (2.000 peças). Em seguida, estabelece-se o seguinte critério: para os itens cuja demanda total do período seja superior à metade do valor máximo, o ciclo será diário. Esta regra pode ser visualizada a partir da adaptação do e-

xemplo anterior, incluindo a coluna “volume relativo ao modelo A”, conforme representado na **tabela 2.2**:

Produtos	Demanda Mensal (peças)	Demanda relativa ao Modelo A	Ciclo	Demanda Média Diária (peças/dia)	Número de Set up por mês	Número Set up no Intervalo	Tamanho do lote (peças)
A	6.000	100%	1D	250	24	8	250
B	5.280	88%	1D	220	24	8	220
C	5.040	84%	1D	210	24	8	210
D	3.072	51%	2D	128	12	4	256
E	3.000	50%	2D	125	12	4	250
F	1.800	30%	2D	75	12	4	150
G	1.440	24%	4D	60	6	2	240
H	1.080	18%	4D	45	6	2	180
I	1.080	18%	4D	45	6	2	180
J	840	14%	4D	35	6	2	140

**Tabela 2. 2 – Adaptação do exemplo de plano nivelado com inclusão da regra de definição dos ciclos de produção. Fonte: adaptado de Liker & Meier (2007).**

Analogamente, os modelos (B) e (C), que estão acima de 50%, têm ciclo diário (1D), ao passo que os modelos cujo valor total esteja próximo do intervalo entre 25% e 50% do valor máximo, o ciclo será a cada dois dias – no exemplo, os modelos (D), (E) e (F). Inclusive, para os modelos cujo valor total esteja abaixo de 25%, o ciclo será a cada quatro dias. Finalmente, os modelos “outros” são agrupados em ordens de produção e fabricados de maneira conveniente para maximizar a utilização da capacidade produtiva disponível (LIKER & MEIER, 2007).

Depois de definidos os ciclos de produção, é necessário definir o tamanho dos lotes de produção para cada um dos modelos de produtos. Porém, vale destacar que os critérios apresentados para os ciclos são apenas balizadores, logo, estes não representam as soluções exatas, uma vez que a capacidade diária de produção deva ser levada em consideração. Nesses casos, o nivelamento pode tornar-se mais complicado à medida que a variedade dos modelos aumenta. Por isto, uma abordagem alternativa – e mais difundida – consiste na afirmação de que o plano nivelado deve focalizar apenas os itens que contribuem com uma parcela maior no volume total da demanda, com base em um histórico recente de vendas.

Esse critério, conhecido como classificação ABC, baseia-se no princípio de Pareto, o qual considera que uma pequena quantidade dos modelos (itens classes “A” e “B”) corresponderá a 80% do volume mensal médio. Partindo desse critério, é possível aumentar o ciclo de atendi-

mento dos itens mais importantes para o fluxo de valor em questão, reduzindo a frequência de produção dos chamados itens classe “C”. (SMALLEY, 2004; TUBINO, 2007).

Isto se apresenta de acordo com as restrições internas da capacidade produtiva e do tamanho de lote mínimo que pode ser obtido em curto prazo. Por exemplo, para um plano de 10 dias, é possível estabelecer, dentre outras abordagens, os ciclos de produção baseados no percentual de consumo dos produtos, em relação ao volume mensal médio, conforme valores recomendados por Smalley (2004):

- Itens A – 60% do volume total mensal: Ciclo diário
- Itens B – 20% do volume total mensal: Ciclo semanal
- Itens C – 20% do volume total mensal: Ciclo mensal

Por outro lado, o intervalo de cada classe de item deve ser gradualmente reduzido, à medida que os tempos de *Set up* forem igualmente reduzidos (MONDEN, 1998). Assim, a meta principal do nivelamento é produzir a gama de modelos de produtos em lotes gradualmente reduzidos (SMALLEY, 2004). No entanto, é necessário avaliar o ciclo para cada família de produto em particular, de modo a conhecer exatamente as limitações da capacidade do sistema.

#### **2.4.4. Plano detalhado dos materiais e o Sistema *Kanban***

Conforme a representação genérica dos métodos de PCP da Manufatura Enxuta, o planejamento de médio prazo fornece as entradas para o plano detalhado dos materiais, isto é, o dimensionamento dos estoques em todo o fluxo de produção. Esta atividade se inicia a partir do plano de carga da linha de montagem final, para gerar – a partir da estrutura dos produtos (*Bill of Materials*, BOM) – as estimativas de estoques em processo e de matérias-primas em todo o fluxo de produção.

Além dessas informações, o plano detalhado de materiais serve como uma estimativa de consumo das matérias-primas, concebida na forma de um plano de materiais (tabelas-mestre), o qual é enviado aos fornecedores que fazem parte do sistema *just-in-time*. Este consiste na entrega de pequenas quantidades de materiais diversas vezes ao dia (MONDEN, 1998). Logo,

em termos práticos, o dimensionamento dos estoques é realizado quantificando o número de *Kanban* e permite uma margem de segurança para incertezas no sistema de produção.

Para definir o plano detalhado de materiais, o estoque total de um determinado item acabado é representado pelo número total de cartões, dado pela **equação 2.1** (TARDIN, 2001):

$$N = \frac{DP}{NS \cdot A} + \frac{DD \cdot LT}{A} + \frac{DD \cdot EP}{A} \quad (2.1)$$

A partir desta equação, serão feitas as seguintes considerações:

N = número total de cartões, sendo um cartão igual a uma embalagem padrão de um produto, peça ou matéria-prima;

DP: Demanda do Período – é obtida a partir dos dados do plano mestre de produção para o mês desejado e é fornecida para cada modelo de produto ou peça (*part-number*).

NS: Número de *Set up* do período - Levando em consideração que o plano nivelado representa a principal entrada para o dimensionamento dos estoques do fluxo de valor, o número de *Set up* de cada modelo deve ser obtido do plano nivelado gerado na atividade anterior.

DD = Demanda diária média - obtida pela divisão da demanda total do período de nivelamento da produção pelo número de dias trabalhados no período, geralmente expressa em peças por dia;

LT = *Lead time* de fabricação do lote, que pode ser expresso matematicamente como a soma dos tempos de *Set up*, de processamento do lote e de espera. Para expressar o *lead time* em dias, considerando o fornecimento entre processos internos ao sistema de produção, basta dividi-lo pelo tempo disponível para produzir, de acordo com a **equação 2.2**:

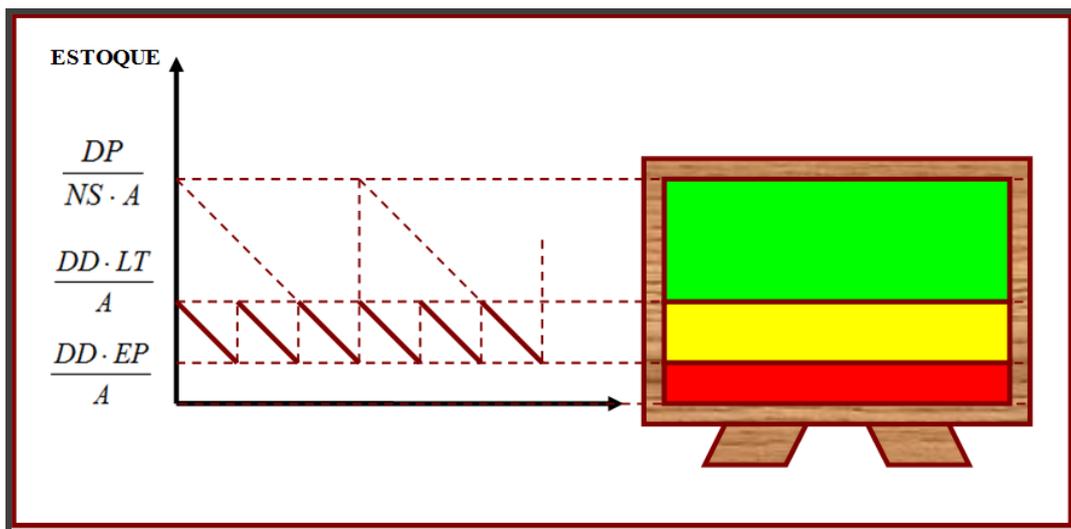
$$LT = \frac{(TSET + TPROC + TESP)}{TDP} \quad (2.2)$$

Estas considerações diferem do modelo proposto por Tardin (2001), uma vez que este não considera o tamanho o lote no cálculo do *lead time*.

EP = Política variável de estoque de proteção - ou seja, que deve ser definido a critério do gestor do sistema de produção, expresso em dias;

A = quantidade de peças por embalagem padrão ou quantidade de peças por *Kanban*, isto é, há um cartão para cada embalagem.

A partir da **equação 2.1** verifica-se que o estoque está dividido em três elementos, que levam em conta o tamanho dos lotes de produção, o *lead time* de produção e o estoque de proteção. Na prática, esta é a origem da divisão do quadro *Kanban* nas faixas verde, amarela e vermelha (MOURA, 1986), ilustradas na **figura 2.3**:



**Figura 2.3 – Quadro *Kanban* e as três faixas de prioridade baseadas no Ponto de Ressuprimento. Fonte: adaptado de Tardin (2001).**

Estas faixas relacionam-se aos termos da equação (2.1), e definem o grau de prioridade de reposição de um item para o processo cliente e que são indicadas no quadro *Kanban*, localizado no processo fornecedor:

- a) A faixa verde equivale ao tamanho do lote e significa atendimento normal com prioridade baixa e corresponde ao primeiro termo do segundo membro da equação (2.1), conforme a **equação 2.3**

$$FAIXA VERDE = \frac{DP}{NS \cdot A} \quad (2.3)$$

- b) A amarela equivale ao *lead time* e representa a urgência, com prioridade média, correspondendo ao segundo termo, conforme a **equação 2.4**:

$$FAIXA AMARELA = \frac{DD \cdot LT}{A} \quad (2.4)$$

- c) A vermelha equivale à proteção e significa emergência com prioridade alta e é equivalente ao terceiro termo, conforme a **equação 2.5**:

$$FAIXA VERMELHA = \frac{DD \cdot EP}{A} \quad (2.5)$$

Com base nessas equações, o plano detalhado dos materiais é finalizado para os processos anteriores à linha de montagem. Em seguida, a *Toyota* determina o tempo *Takt*, para definir o ritmo de trabalho na linha de montagem, conforme será explicado na próxima seção.

#### 2.4.5. Tempo *Takt* e as operações de montagem

*Takt* é uma palavra de origem alemã que significa “compasso” e está relacionada ao comando de um maestro sobre a sua orquestra. Este termo era utilizado na indústria de aviação alemã e foi incorporado rapidamente às práticas da *Toyota* na década de 50 (LIKER, 2005).

O *Takt* é o resultado da divisão do Tempo Disponível para Produzir (TDP) e a Demanda Diária Total por peças no período de operação (LIKER, 2002), conforme a **equação 2.6**:

$$Takt = \frac{TDP}{DemandaDiáriaTotal} \quad (2.6)$$

O tempo *Takt* foi apresentado inicialmente por Monden (1981) com os nomes de tempo de ciclo (*cycle time*) ou tempo “tact” (*tact time*). Atualmente, o tempo de ciclo relaciona-se à frequência com que um produto final é produzido no processo puxador. Corresponde ao intervalo de tempo entre a produção de duas peças, em um processo manual ou automatizado, com qualidade dentro da especificação.

O tempo de ciclo de cada estação de trabalho deve ser menor ou igual a 95% do tempo *Takt* (DUGGAN, 2002; ROTHER & HARRIS, 2003). Assim, o fluxo contínuo será estabelecido no momento em que os processos, manuais ou automáticos, operarem com tempos de ciclo

próximos ao *Takt*, com estabilidade total. Porém esta é uma condição muito difícil de ocorrer em qualquer sistema de manufatura.

O TDP é calculado a partir do tempo total do turno de trabalho, descontando-se as paradas programadas para lanches, almoço e reuniões de troca de turno. Todas as outras paradas não programadas, além da manutenção preventiva, não são consideradas (SHOOK & ROTHER, 2001). Por exemplo, em um turno de trabalho com tempo total igual a 480 min, destes, 450 min ou 27.000 s estão disponíveis para produção. O tempo *Takt* será obtido dividindo 27.000 s por 500 peças, resultando em 54 s por peça.

A interpretação desse conceito é que um equipamento ou processo deve produzir, a cada 54 segundos, uma peça com qualidade, por turno. Logo, o tempo *Takt* fornece uma visão clara e inequívoca do ritmo de produção e está intimamente ligado à demanda do cliente. Assim, o ritmo de trabalho do processo puxador deve ser ajustado àquele valor.

O tempo *Takt* também é útil para dimensionar o estoque de uma estação de trabalho que faz parte de uma linha de montagem. Este aprovisionamento de estoque é comumente chamado de “supermercado de linha”. Em geral, ao se dividir um intervalo de tempo qualquer pelo *Takt*, se determina a quantidade de peças que serão consumidas neste mesmo intervalo. Por exemplo, se o *Takt* for 60 s/peça, ou seja, 1,0 min/peça, a quantidade de peças consumidas em 60 min será igual a  $60 \text{ min} / 1 \text{ min/peça} = 60$  peças.

Em virtude do supermercado de linha ser geralmente dimensionado para suportar uma demanda equivalente ao dobro do tempo de uma rota de abastecimento de materiais, então, para uma rota de 60 min, o supermercado da linha de montagem é dimensionado, com base no *Takt*, para:  $2 \cdot 60 = 120$  min, ou seja, 120 peças.

#### **2.4.6. Tempo *Takt*, as operações de fabricação e o incremento *Pitch***

Na seção anterior foi explicada a aplicabilidade do conceito de tempo *Takt* para se determinar o ritmo de trabalho em linhas de montagem. Por outro lado, os sistemas de fabricação (vide **Apêndice A**), nos quais as taxas de produção diária excedem as dezenas de milhares de peças, diferem das linhas de montagem pelo fato daqueles apresentarem as seguintes características:

1. Os tamanhos dos lotes de fabricação dos modelos de produtos podem divergir entre si;

2. Os processos podem apresentar taxas de produção diferentes para cada produto, logo, os tempos de fabricação dos lotes de cada modelo também podem ser distintos;
3. Restrições técnicas podem limitar o tamanho dos lotes a valores de lotes mínimos, como por exemplo, processos que fabricam produtos originados a partir de elementos na forma de bobinas, rolos, chapas, os quais, muitas vezes, não podem ser reduzidos.

Para os sistemas que apresentam essas restrições, o conceito de tempo *Takt* torna-se inadequado. Isto ocorre, uma vez que os valores obtidos com base na equação de cálculo do tempo *Takt* seriam em torno de frações de segundos. Por exemplo, considerando os valores dados abaixo e utilizando a **equação 2.6**, encontramos:

$$\text{TDP} = 27.000 \text{ s}$$

$$\text{Demanda Diária Total} = 500.000 \text{ peças}$$

$$\text{Takt} = 27.000\text{s} / 500.000 \text{ peças}$$

$$\text{Takt} = 0,054 \text{ s}$$

Neste exemplo, o *Takt* igual a 0,054 s não representa um valor adequado para controlar a produção em sistemas com operações de fabricação.

Dada essa limitação, uma alternativa é monitorar o *Pitch* de produção, isto é, adota-se a produção de pequenas quantidades baseadas em tamanhos de lotes equivalentes ao número de peças por embalagem de um dado produto. Como alternativa, é possível utilizar o tamanho de lote mínimo dos modelos de produtos, ao invés do tamanho da embalagem. Assim, o *Pitch*, geralmente expresso em minutos, é o intervalo de tempo, baseado no *Takt*, requerido por um processo fornecedor (montante), para liberar, ao processo cliente (a jusante), um lote padrão de fabricação de um dado produto, de acordo com a **equação 2.7**:

$$\text{Pitch} = \text{Takt} \cdot \text{Lote Padrão} \tag{2.7}$$

Em outras palavras, se o lote não for produzido e transferido até intervalo de tempo correspondente ao *Pitch*, denotará atraso. Desta forma, o *Pitch* serve para controlar o ritmo da produção. Neste contexto, se o tempo *Takt* do exemplo anterior for igual a 0,054 s e o tamanho

do lote de um dado modelo de produto for igual a 100.000 peças, o *Pitch*, calculado utilizando a equação para cálculo do tempo *Takt*, apresentará o seguinte valor:

$$Takt = 0,054 \text{ s}$$

Lote padrão (produto A) = 100.000 peças

$$Pitch = 0,054 \times 100.000 = 5.400 \text{ s}$$

$$Pitch = 90 \text{ min}$$

Significa que um lote do produto A deve ser produzido em 90 min e imediatamente transferido ao processo cliente. Por outro lado, em termos práticos, os tamanhos dos lotes devem ser reduzidos de tal forma que o valor do *Pitch* esteja no intervalo de 15 a 25 min, para demandas de alto volume. Com isto, há um ganho significativo em agilidade e flexibilidade, permitindo ao sistema reagir rapidamente às mudanças na demanda e aos problemas internos, tais como defeitos da qualidade e quebra de máquinas (DUGGAN, 2002; TAPPING ET AL, 2002).

Partindo dessa premissa, optou-se, neste trabalho, em classificar as operações de fabricação quanto ao valor do *Pitch*, no intuito de estabelecer um critério comparativo entre os sistemas de manufatura no que tange à aplicabilidade da produção *just-in-time*. Em outras palavras, quanto menor o *Pitch* – o tempo equivalente à produção de um lote – maior será a viabilidade de implantar o fluxo contínuo. Estes critérios estão definidos:

- $Pitch < 60 \text{ min}$  – Lotes pequenos (Produção *just-in-time*),
- $Pitch > 60 \text{ min}$  – Lotes grandes (Produção em lotes).

Com base nesses intervalos, a produção em lotes referida nesta pesquisa, será considerada para *Pitch* acima de 60 min. Porém, vale ressaltar que esses intervalos foram considerados balizadores, uma vez que não se pretende criar regras rígidas.

Por outro lado, em sistemas de fabricação, é possível que o *Pitch* seja diferente para cada um dos modelos produzidos no mesmo fluxo de valor. Por essa razão, uma alternativa é monitorar o tempo de produção em intervalos de tempo preestabelecidos, por exemplo, utilizando um “incremento *Pitch*” equivalente a uma hora. Isto significa que, a cada hora, a produção realizada deve ser comparada à programação diária, para que se possa averiguar se existe atraso ou

não na produção. Tal abordagem pode ser operacionalizada por meio de um “quadro de controle da produção por hora”, ilustrado com base na **figura 2.4**:

CONTROLE DE PRODUÇÃO POR HORA <span style="float: right;">130</span>				
Linha: <i>Reboul Sa e Nacional</i>			Lider: <i>EDUARDO</i>	
Quantidade Planejada: <i>3500 PCs/DIA</i>			Takt Time: <i>11 seg / Pç</i>	
Tempo	Horária Plano / Real	Acumulado Plano / Real	Problemas / Causas	Supervisor Responsável
6:00 - 7:00	<i>250 / 0</i>	<i>250 / 0</i>	<i>Acumulado em 21/06/08</i>	
7:00 - 8:00	<i>250 / 100</i>	<i>500 / 100</i>		
8:00 - 9:00	<i>250 / 200</i>	<i>750 / 300</i>		
9:00 - 10:00	<i>250 / 195</i>	<i>1000 / 495</i>	<i>Reboul ARGENTINA</i>	
10:00 - 11:00	<i>190 / 80</i>	<i>1190 / 575</i>	<i>  </i>	
11:00 - 12:00	<i>60 / 20</i>	<i>1250 / 595</i>	<i>  </i>	
12:00 - 13:00	<i>250 / 160</i>	<i>1500 / 755</i>	<i>  </i>	
13:00 - 14:00	<i>250 / 120</i>	<i>1750 / 875</i>		
14:00 - 15:00	<i>250 / 80</i>	<i>2000 / 955</i>	<i>Acumulado reboul</i>	
15:00 - 16:00	<i>250 / 45</i>	<i>2250 / 1000</i>	<i>  </i>	
16:00 - 17:00	<i>250 / 0</i>	<i>2500 / 0</i>	<i>  </i>	
17:00 - 18:00	<i>0 /</i>	<i>2500 /</i>		
18:00 - 19:00	<i>250 / 50</i>	<i>2750 / 55</i>	<i>  </i>	
19:00 - 20:00	<i>250 / 75</i>	<i>3000 / 130</i>	<i>Acumulado reboul</i>	
20:00 - 21:00	<i>250 / 100</i>	<i>3250 / 230</i>	<i>  </i>	
21:00 - 22:00	<i>250 / 100</i>	<i>2500 / 1000</i>		

**Figura 2.4 – Quadro de controle da produção com incremento *Pitch* de uma hora para operacionalizar a gestão visual da produção. Fonte: Kamada (2007).**

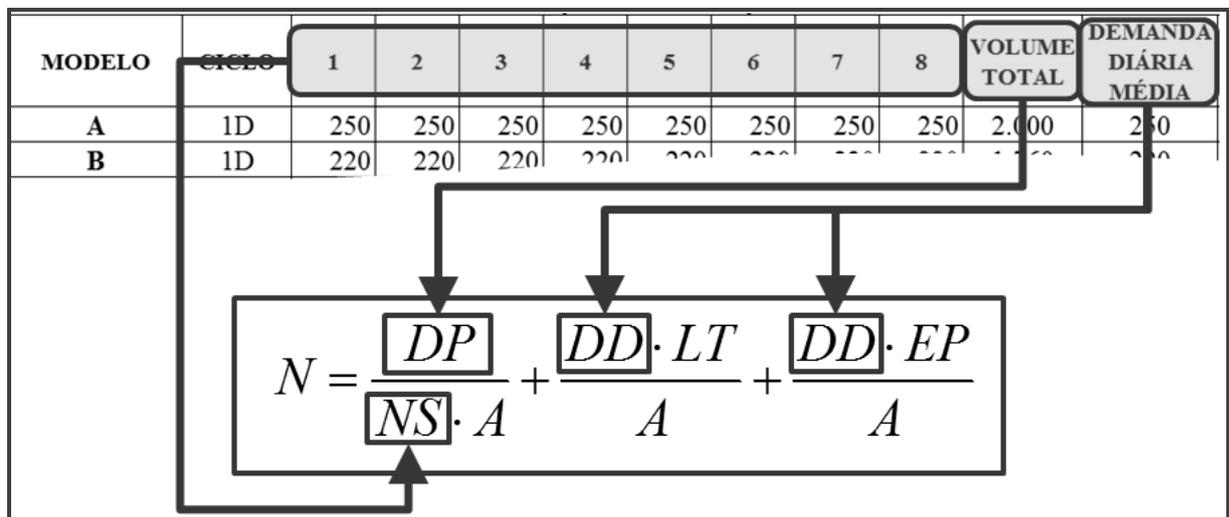
Verifica-se, na **figura 2.4**, que a cada intervalo de uma hora, a produção realizada (“Real”) é registrada em tinta preta, para que seja comparada à produção diária planejada (“Plano”). Outra informação relevante consta na coluna identificada por “Problemas / causas”, os operadores registram os problemas e as respectivas causas-raízes. Isto representa uma técnica de gestão visual da produção e das ações necessárias para a solução de problemas no chão-de-fábrica.

Finalizando a explanação dos conceitos de *Pitch* (*Pitch de produção ou tempo de fabricação do lote*) e o incremento *Pitch* (intervalo de controle), será apresentada, no capítulo 3, uma alternativa de cálculo do *Pitch* para sistemas de fabricação, que será utilizada como base para o método proposto nesta pesquisa.

Na seção seguinte, é feita uma explanação da relação entre o plano nivelado e o cálculo do *Kanban*, como parte integrante dos métodos de PCP da Manufatura Enxuta previamente apresentado.

#### 2.4.7. Relação entre o plano nivelado e o cálculo do *Kanban*

Conforme apresentado na **figura 2.2**, o plano nivelado apresenta as entradas necessárias para o dimensionamento do plano detalhado dos materiais, partindo do cálculo do *Kanban*. Este relacionamento pode ser mais bem representado por meio da relação entre as variáveis utilizadas na elaboração do plano nivelado e os parâmetros de cálculo da **equação 2.1**, de acordo com a representação da **figura 2.5**:



**Figura 2.5 – Representação gráfica da relação entre o plano nivelado e os parâmetros de cálculo do *Kanban*. Elaborado pelo autor.**

Por essa razão, o plano nivelado fornece os valores para as variáveis apresentadas na **seção 2.3.4**, a saber: o número de *Set up* (NS), vinculado ao número de vezes que se pretende produzir um modelo de produto no intervalo planejado; a demanda do período (DP) e a demanda diária (DD). O *lead time* deve ser determinado por meio da **equação 2.2** e o estoque de proteção, por sua vez, deve ser definido como uma política a critério da Gerência de Produção. Isto evidencia que o modelo de PCP apresentado na **figura 2.2** está correto, no que diz respeito ao horizonte de médio prazo.

#### **2.4.8. O planejamento da produção de curto prazo**

Este nível, conhecido como a operacionalização do planejamento da produção, contempla as cinco atividades de controle da produção, que possuem as seguintes características (VOLL-MANN *ET AL*, 2006):

- a) Carregamento: é do tipo Finito, pois se busca manter uma capacidade máxima com pouca flutuação. E é do tipo vertical, pois a programação da produção não considera o detalhamento da tarefa, e sim, a fabricação de peças unitárias ou em lotes;
- b) Sequenciamento: busca-se ordenar os modelos levando em consideração o tamanho do lote e a proporção entre os volumes de cada modelo diariamente. Utiliza métodos específicos baseados em algoritmos ou manuais ((MONDEN, 1998; BALLÉ & BALLÉ, 2006)
- c) Programação: É do tipo “para trás”, porém tem como meta iniciar a produção “em cima da hora”, ou *Just-in-time*, JIT;
- d) Liberação de Ordens: utilizando o Sistema *Kanban*, o *backflushing* torna-se desnecessário, pois não há utilização do MRP para debitar, dos registros de estoque, os materiais utilizados nas ordens de produção. Além disso, simplifica-se o controle de entradas/saídas, ao realizar a contagem de cartões a montante e a jusante de um determinado processo;
- e) Controle: o sistema é puxado, e, ao invés de controlar a realização da produção ao final de um turno ou um dia de expediente, utiliza-se o intervalo *Pitch*, para, verificar o progresso em pequenos intervalos de tempo. Assim, monitora-se a taxa de produção, controlando o estoque em processo. Este intervalo pode ser um turno, uma hora ou intervalos menores que uma hora.

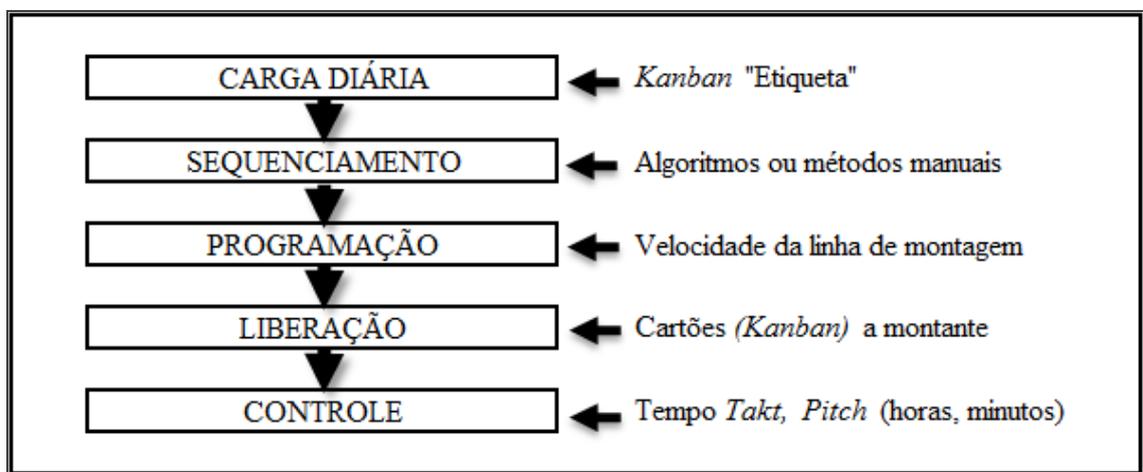
Estes cinco tópicos representam a simplificação das atividades de chão-de-fábrica, além de incluir o Sistema *Kanban* para o controle dos fornecedores externos, utilizando abordagens específicas, comumente chamadas de “Fornecimento JIT”, Logística Enxuta, entre outros.

#### **2.4.9. As cinco atividades de controle da produção em linhas de montagem**

Com base nas definições apresentadas, o planejamento de curto prazo da Manufatura Enxuta se inicia a partir do departamento de *Marketing/Vendas* da *Toyota*. Assim, mediante o rece-

bimento dos pedidos diários confirmados, a *Toyota* emite uma listagem contendo as especificações dos diversos modelos que serão montados diariamente, a partir da qual etiquetas são afixadas às carrocerias de cada veículo (Sistema *Kanban* de Etiquetas) dando às instruções aos operadores da linha de montagem final acerca das submontagens necessárias a cada modelo de veículo (MONDEN, 1998).

Assim, tendo em vista a representação genérica dos métodos de PCP da Manufatura Enxuta e no conhecimento das cinco atividades de controle da produção, a programação diária de uma linha de montagem segue um fluxo de informações é resumido na **figura 2.6**:



**Figura 2.6 – Fluxo de informações de programação diária em linha de montagem. Fonte: elaborado pelo autor.**

Este fluxo é descrito em cinco passos (MONDEN, 1998):

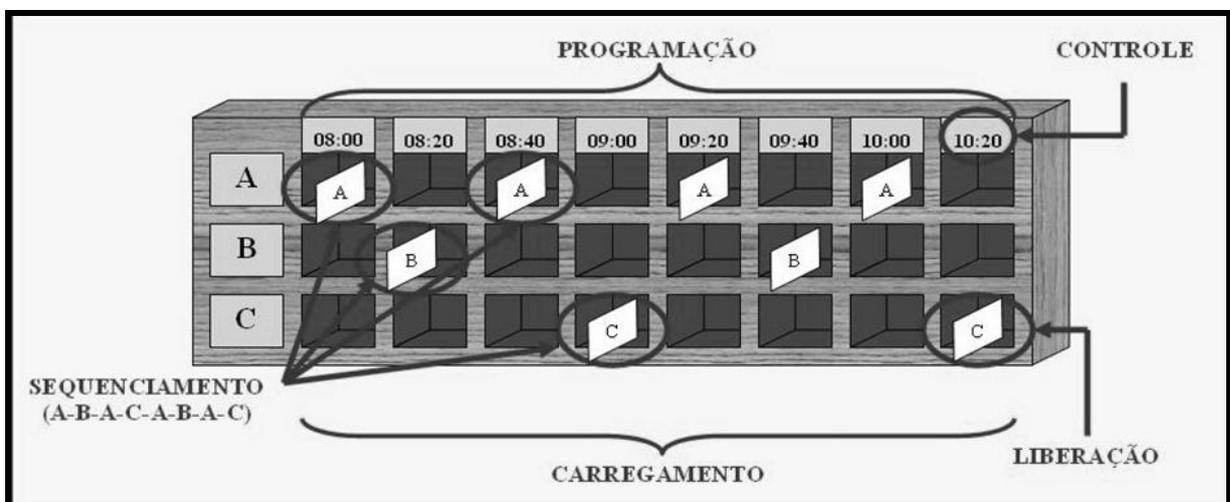
- 1) A unidade de Vendas da *Toyota* emite a confirmação dos pedidos diários, gerando o plano nivelado atualizado, e partir desse, o valor do tempo *Takt*. Estas informações são transmitidas à unidade de Manufatura,
- 2) A unidade de Manufatura da *Toyota* realiza o sequenciamento dos modelos utilizando algoritmos específicos, para em seguida imprimir e postar as etiquetas nas carrocerias dos veículos na linha de montagem na sequência preestabelecida;
- 3) Com base na sequência e na velocidade da linha de montagem ditada pelo tempo *Takt*, a programação é feita automaticamente, determinando o momento exato com que cada modelo passará por uma determinada estação de trabalho;

- 4) Na estação de trabalho, o operador retira a etiqueta afixada na carroceria do veículo e verifica todas as peças necessárias para realizar montagem. Esta atividade representa o “sinal de puxada” para a reposição das submontagens consumidas em cada estação e irá disparar a reposição de peças e matérias-primas à montante do processo puxador;
- 5) A verificação das metas de produção é operacionalizada em intervalos regulares de tempo, utilizando o conceito de incremento *Pitch*, ao invés de registrar a produção realizada ao final do turno ou dia de trabalho.

Estas etapas estão integradas aos dois tipos de retiradas de produtos finais à expedição, conforme explicado na **seção 2.7.6**.

#### 2.4.10. A caixa de nivelamento (*Heijunka Box*)

Na Manufatura Enxuta, a caixa de nivelamento, é um instrumento de gestão visual que integra as cinco atividades de controle da produção, diminuindo a dependência de um *software* de programação diária, cuja representação pode ser exemplificada com base na **figura 2.7**:



**Figura 2. 7 – Exemplo de uma caixa de nivelamento com incremento *Pitch* de 20 minutos e as cinco atividades de PCP. Fonte: elaborado pelo autor.**

Portanto, essa caixa, que pode assumir outros formatos (TARDIN & LIMA, 2000; DUGGAN, 2002), é composta por linhas e colunas. Cada linha da caixa de nivelamento corresponde a um modelo de produto específico, e as colunas representam ou intervalo de controle da produção (incremento *Pitch*), geralmente igual ao *Pitch* de Produção (SMALLEY, 2004; JONES,

2006). Por essa razão, os *Kanban* são afixados nas caixas, que darão as instruções sobre o que, quanto e quando produzir. Logo, antes de apresentar o funcionamento da caixa de nivelamento, a seção seguinte contemplará os elementos do Sistema *Kanban*, componente da Produção Nivelada.

## 2.5. O SISTEMA KANBAN

Esta seção tem o objetivo de apresentar uma visão mais ampla sobre o funcionamento do Sistema *Kanban*. Logo, serão explanados os pré-requisitos, as funções e as regras de operação, além dos principais elementos que constituem o sistema.

### 2.5.1. Pré-requisitos do Sistema *Kanban*

O Sistema *Kanban* não funciona sem considerar a implantação da Manufatura Enxuta como um todo, apresentando os seguintes pré-requisitos (SHINGO, 1996; MONDEN, 1998):

- ❑ Caixas ou embalagens padronizados para cada tipo de peça, utilizados para facilitar o controle dos estoques, bem como padronizar os meios de movimentação de cargas;
- ❑ Disciplina para o controle diário no chão-de-fábrica, de modo a seguir as regras preestabelecidas;
- ❑ Comunicação e transparência para comunicação dos problemas imediatamente, para favorecer a tomada de ações para a solução dos problemas no chão-de-fábrica.

Com base nessas definições, compreender e utilizar estes pré-requisitos possibilitam a correta aplicação do Sistema *Kanban*.

### 2.5.2. Funções e regras operacionais do *Kanban*

Antes de esclarecer a operacionalização do sistema *Kanban*, é preciso explicar as funções básicas, que se relacionam ao objetivo de evitar a superprodução. Logo, a partir dessas se verifica todo o potencial do Sistema *Kanban* em termos de aumento da flexibilidade, rapidez e confiabilidade (MOURA, 1986; SLACK ET AL, 2002). Estas funções são resumidas:

a) Controle da Produção *just-in-time*:

- O Sistema *Kanban* mantém a produção de estoques em níveis controlados, de forma a garantir a pronta entrega aos clientes internos e externos;
- Fazendo uso do controle visual, sempre que caixas cheias de peças forem encontradas sem *Kanban* anexados, implica a superprodução de peças;
- Os pedidos em atraso são prontamente identificados quando os quadros estiverem cheios de *Kanban*, possibilitando a imediata alocação mão-de-obra em horas extras, quando necessário;
- Previne a amplificação dos efeitos da flutuação da demanda externa, do processo final ao inicial, causado pelo Efeito Forrester, ao se produzir em pequenos lotes de modelos variados (*mix*) de forma distribuída ao longo do dia;
- As taxas de produção são gerenciadas por meio da reposição de itens nos supermercados, limitados ao número de *Kanban* em circulação.

b) Controle de Estoques:

- O número total de cartões de um determinado item especifica o estoque total do mesmo. Assim, utilizando-se do registro de movimentação dos cartões e das respectivas embalagens vazias, determina-se o total de peças que foi consumido durante um dado período de tempo, possibilitando antecipação ao risco de falta de material na linha de montagem;
- Simplifica o controle de estoques uma vez que contribui para a redução da variação das quantidades preestabelecidas para o estoque em processo.

c) Instrumento de melhoria contínua (MONDEN, 1998; BALLÉ & BALLÉ, 2006):

- Como o *Kanban* está relacionado à embalagem de matéria-prima, peças, submontagens ou produtos finais acabados, ao se reduzir o número de cartões, reduz-se o espaço ocupado com o estoque de um determinado item;

- Ao reduzir o estoque, a proteção contra as instabilidades internas e externas é diminuída. Na analogia com o rio, isto expõe os gargalos no sistema produtivo bem como os pontos que requerem melhoria. Isto força a solução da causa raiz dos problemas;
- Possibilita, enquanto ferramenta de gestão visual, uma comunicação rápida e inequívoca dos problemas no chão-de-fábrica, tais como superprodução e atrasos de produção;
- O Sistema *Kanban* também visa alcançar níveis mais elevados de produtividade, e incentiva a melhoria das operações manuais, das máquinas e dos fluxos de materiais.

É importante salientar que o Sistema *Kanban* é um programa de longo prazo de melhoria de produtividade, uma vez que deve evoluir até abranger a toda a cadeia de valor. Isto exige disciplina e comprometimento com a mudança, bem como uma atitude voltada para o trabalho em equipe e uma cultura voltada à solução definitiva de problemas (HALL, 1981). Logo, uma organização que deseja alcançar desempenho superior em termos de maior flexibilidade e rapidez deve ter metas bem definidas de redução do número de *Kanban*, e, conseqüentemente, dos estoques.

Outra característica marcante é a descentralização do controle da produção, que tradicionalmente está a cargo do departamento de PCP. Em virtude disso, os supervisores e líderes de produção passam a ter maior autonomia sobre a gestão dos recursos do setor, tomando decisões sobre a solução de problemas ou de necessidade de programação de horas extras, por exemplo.

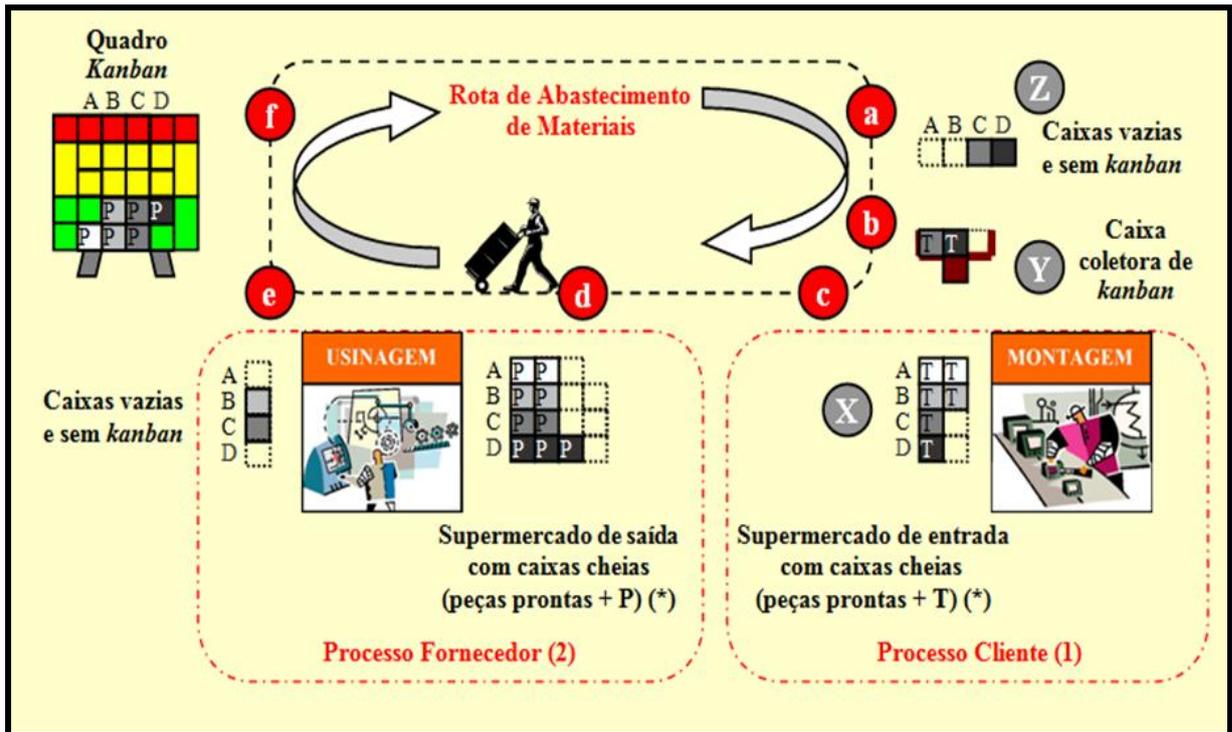
Na seção seguinte, será feita uma síntese do funcionamento do Sistema *Kanban*, algumas aplicações, incluindo os tipos de cartão utilizados para cada situação específica.

### **2.5.3. O Sistema *Kanban* de Dois Cartões**

O sistema de “dois cartões” é comumente mencionado como a descrição do princípio básico de funcionamento do Sistema *Kanban*. No entanto, representa o caso em que os processos estão fisicamente distantes e tal arranjo físico implica a necessidade de integração logística entre

os processos. Isto posto, neste sistema estão incluídos mais desperdícios, tais como transporte e peças, movimentação de pessoas e filas de espera para transporte. Portanto, o Sistema de Dois Cartões representa, certamente, o pior caso em termos de interrupção do fluxo de materiais.

Na prática, o **Sistema Kanban de Dois Cartões** é representado graficamente pela **figura 2.8**:



**Figura 2.8 – Sistema de dois cartões com rota de abastecimento de materiais. Adaptado de Schonberger (1993). (\*) P: Kanban de produção; T: Kanban de transporte**

Com base na **figura 2.8**, o Kanban combinado é utilizado internamente, sendo um de transporte (também conhecido como cartão de retirada ou de movimentação), no processo cliente (1), e um de produção, disparado no fornecedor (2), que consiste em dois processos, máquinas ou células separados entre si por um supermercado. Logo, este sistema, que também é aplicável aos processos que operam em lotes, tem os seguintes elementos: a caixa coletora de Kanban, o quadro-Kanban, o supermercado de saída (peças prontas) e o depósito e caixas vazias do processo fornecedor (2), o supermercado de entrada (peças prontas) e o depósito e caixas vazias do processo cliente (1), a rota de materiais (a, b, c, d, e, f), quatro modelos de itens a serem produzidos (A, B, C, D) e a sequência de coleta de peças do processo cliente (X, Y, Z).

Na condição inicial, não há cartões no quadro-*Kanban*, pois os supermercados estão abastecidos. O sistema puxado inicia-se a partir da retirada de uma caixa cheia (X) pelo processo cliente (1). Ao retirar a primeira peça da caixa para utilização, o operador retira o *Kanban de transporte* (T) da caixa e o coloca na caixa coletora de *Kanban* (Y). A utilizar todas as peças da caixa, coloca esta em um local específico e identificado (Z) e retorna para concluir as tarefas na célula.

Tendo a **figura 2.8** como base, o movimentador de materiais executa uma rota periódica com a seguinte sequência de tarefas:

- a) Iniciando pela coleta de caixas vazias do processo cliente;
- b) Dirige-se à caixa coletora de *Kanban* para coletar os *Kanban* de transporte postados.
- c) Em seguida, se dirige ao supermercado de entrada da célula cliente para deixar as peças prontas coletadas na rota anterior;
- d) Depois se dirige ao supermercado de saída do fornecedor para retirar as caixas com peças prontas correspondentes aos *Kanban* de transporte, anexando-os nas mesmas. Depois destaca os *Kanban* de produção das referidas caixas;
- e) Deixa as caixas vazias na área específica;
- f) Insere os cartões de produção recém coletados no Quadro *Kanban* e reinicia a rota.

O processo fornecedor (2), baseado na quantidade de cartões de produção no quadro *Kanban*, irá iniciar a fabricação das peças para reposição das peças retiradas do supermercado da linha, solicitada via *Kanban* de transporte.

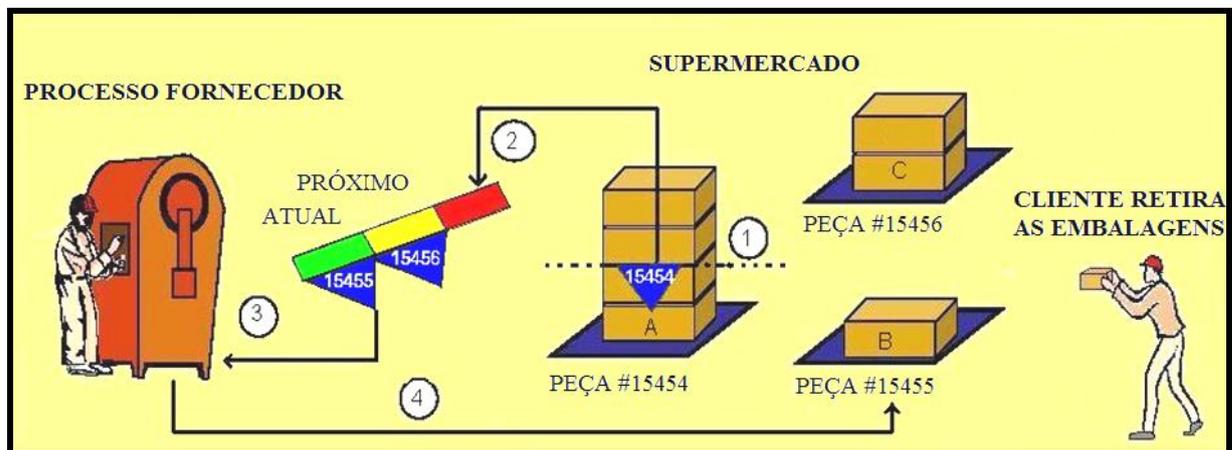
No quadro *Kanban*, os cartões são postados verticalmente para cima, iniciando pela faixa verde até a faixa vermelha (TARDIN, 2001). De acordo com a regra de prioridade, apenas quando um cartão atinge a faixa amarela, o operador, marca o *Kanban*, vira-o ao contrário no quadro ou, ainda, utiliza algum sinalizador para que os responsáveis pela produção possam visualizar qual a peça está sendo produzida no momento (MOURA, 1986). Em seguida, realiza o *Set up* da máquina e inicia imediatamente a produção da quantidade equivalente ao tamanho

do lote, expresso em múltiplos de cartões. Quando o operador do processo fornecedor (2) concluir a fabricação, o cartão é destacado do quadro e é anexado à embalagem.

Desta forma, os cartões são retirados do quadro no sentido inverso ao da fixação, ou seja, da faixa vermelha para a verde, e após a conclusão da fabricação da quantidade de peças equivalente ao tamanho do lote, em múltiplos do número de peças prescritas no *Kanban* (MOURA, 1986; TARDIN, 2001).

#### 2.5.4. O *Kanban* de sinalização

Este tipo de *Kanban* é utilizado para disparar a reposição de itens em sistemas produtivos nos quais a **produção em lotes** consiste na alternativa mais técnica ou economicamente viável, tais como a estampagem de peças, injeção de peças plásticas, entre outros. Tais processos, em geral, têm tempos de ciclos muito curtos ou muito longos ou ainda tempos de preparação muito longos. Ressalta-se que os cartões são confeccionados no formato triangular e são armazenados no supermercado, existindo apenas um *Kanban* para cada lote de modelo de produto ou peça (*part-number*) a ser fabricado (MONDEN, 1998; SMALLEY, 2004). Este tipo de *Kanban* é operacionalizado com base na **figura 2.9**:



**Figura 2.9 – Operação do *Kanban* de sinalização. Fonte: adaptado de Smalley (2007).**

De acordo com a **figura 2.8**, mediante a retirada de materiais pelo processo cliente, existe um nível de estoque a partir do qual o *Kanban* triangular é removido (1) e em seguida é colocado em um trilho porta-*Kanban* específico na sequência de chegada (2), para autorizar a fabricação de um novo lote no processo fornecedor (3), o qual será entregue ao supermercado (4) em

um local específico. Diferentemente do sistema de dois cartões, e do cartão único, não existem *Kanban* afixados às embalagens das peças, pois apenas um cartão é calculado por item.

#### **2.5.5. O Sistema *Kanban* eletrônico**

Consiste em um meio de transmissão do sinal de puxada entre o almoxarifado do processo cliente (1) e o processo fornecedor. Este tipo de Sistema *Kanban* é justificado para sistemas com grande variedade de itens ou quando a distância entre cliente e fornecedor for tão grande que inviabilize o uso de cartões.

Por essas razões, é muito indicado em aplicações de *Kanban* Externo (FAVARO, 2003), no qual o sinal da puxada consiste em um meio eletrônico. Este pode se apresentar de diversas alternativas, tais como Intercâmbio Eletrônico de Dados (*Electronic Data Interchange*, EDI), identificação por rádio frequência (*Radio Frequency Identification*, RFID), *fax*, *e-mail* ou ligação telefônica, e é útil para disparar a expedição das peças no processo fornecedor (WOMACK & JONES, 2004).

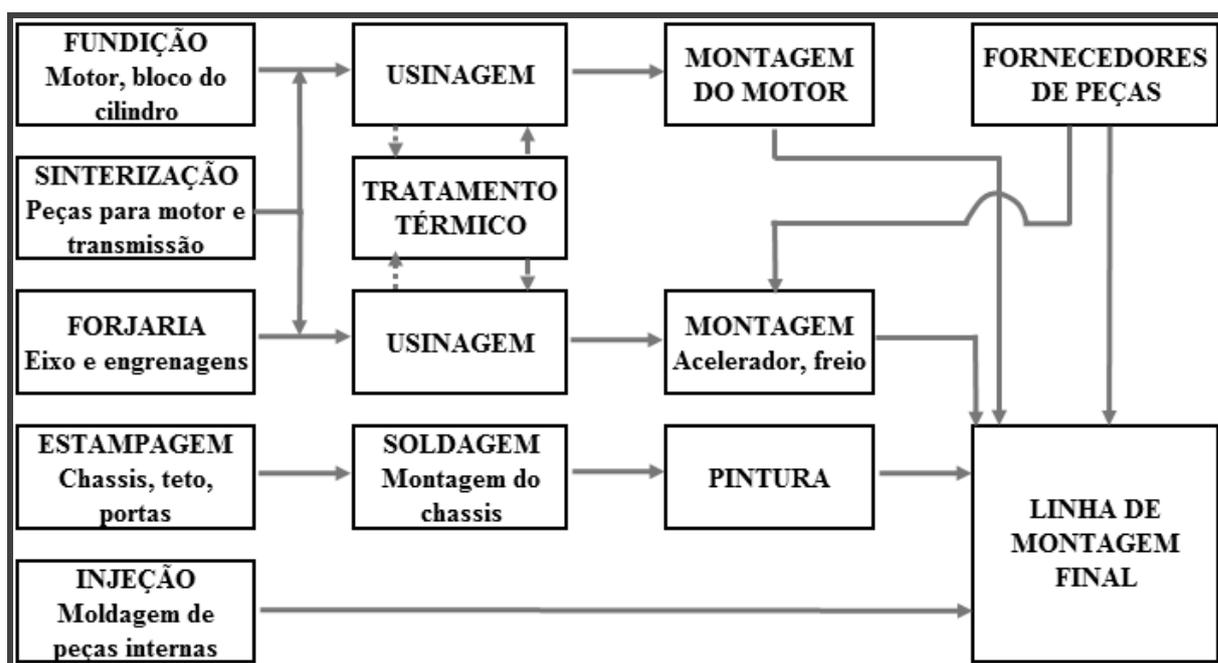
Vale lembrar, que, nas palavras do Taiichi Ohno, o Sistema *Kanban* deve ser flexível para se ajustar às necessidades do sistema produtivo, embora as funções e regras devam ser consideradas.

### **2.6. FLUXO DE MATERIAIS E O ARRANJO FÍSICO**

Com vistas a um entendimento acerca do planejamento e controle da produção, é necessário estabelecer três conceitos fundamentais: o fluxo de valor, o processo puxador e o Mapa do Fluxo de Valor (*Value Stream Map*, VSM). O fluxo de valor compreende a sequência de etapas de transformação, desde a matéria-prima até o produto final. O processo puxador representa o único processo do fluxo de valor que será programado diariamente. O VSM consiste em uma representação gráfica das modificações necessárias para a implantação a Produção Nivelada. Estes conceitos serão vistos nas seções seguintes.

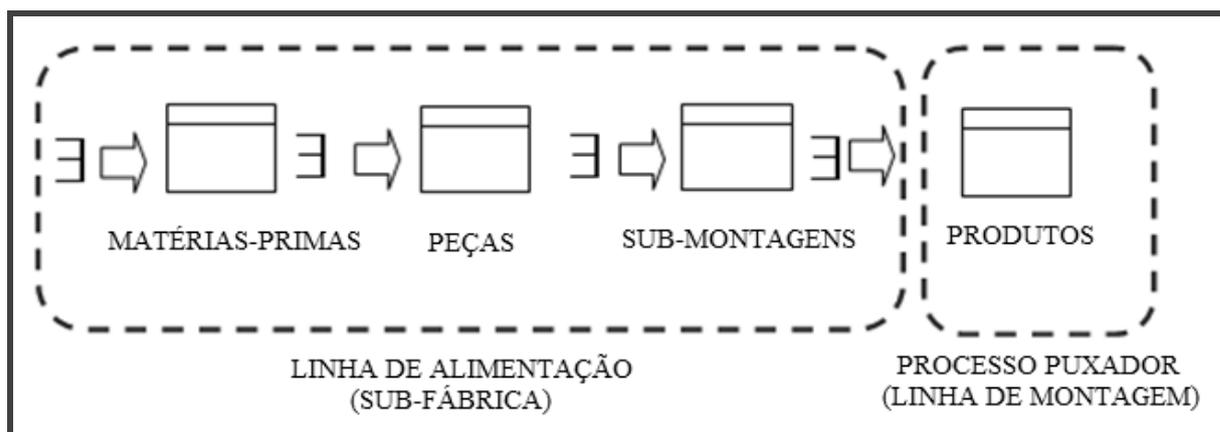
### 2.6.1. O fluxo de valor e o processo puxador

O layout típico de uma fábrica da *Toyota* ilustra o conceito de subfábricas, que são divididas em uma linha de montagem e inspeção e uma seção de processos de manufatura repetitiva (HARMON & PETERSON, 1991). Tal arranjo pode ser representado considerando, como exemplo, por uma fábrica típica da *Toyota*, de acordo com a **figura 2.10**:



**Figura 2. 10 – Fluxo de valor em uma fábrica típica da Toyota. Fonte: Adaptado de Monden (1998).**

Nota-se na **figura 2.10** que os processos de moldagem por injeção e o fornecimento externo de peças são os fluxos de valor mais simples. Inclusive, os processos representados naquela figura, organizados em subfábricas, são a base para empresas de diversos segmentos industriais de manufatura de bens de consumo. Tal arranjo consiste em uma combinação de linha de montagem e processos de manufatura repetitiva, e abarca um ou mais tipos de operação de processamento. Tais operações são representadas graficamente por meio do Mapa do Fluxo de Valor, cuja representação genérica do fluxo de materiais é dada na **figura 2.11**:

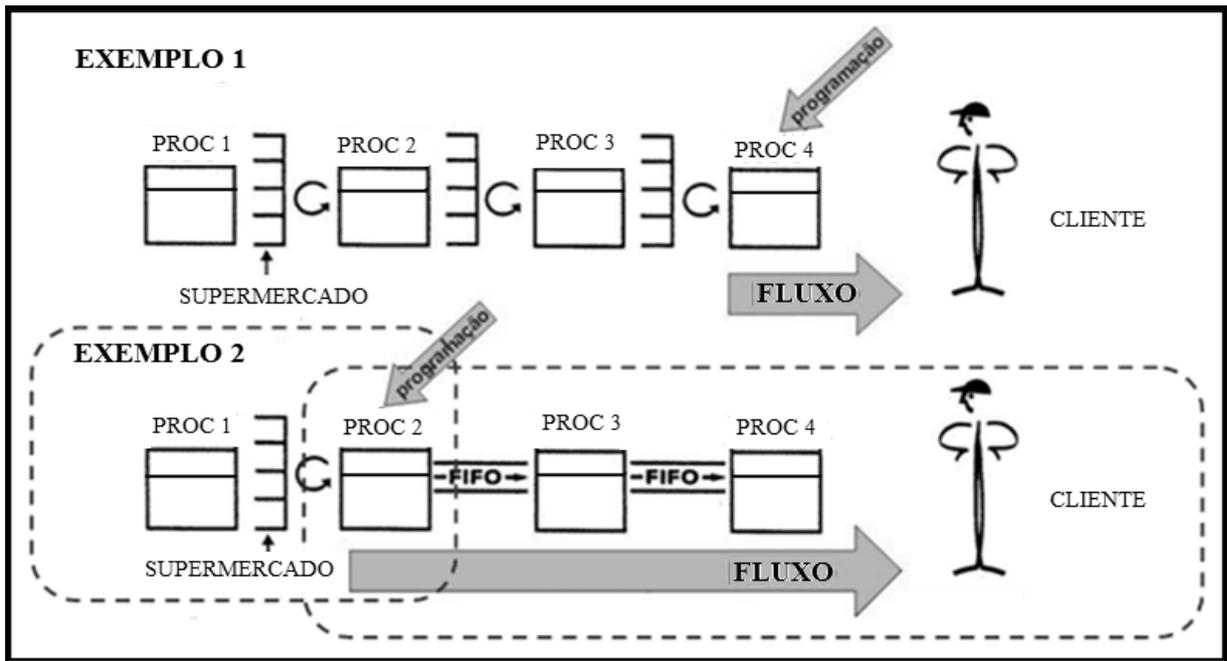


**Figura 2.11 – Representação genérica de um fluxo de produção em um mapa do fluxo de valor e o processo puxador. Fonte: adaptado de Browne *et al* (1988: p.196).**

As linhas de alimentação são compostas de processos ou estações de trabalho dispostos fisicamente em células, departamentos ou subfábricas, que podem ser operações sequenciais ou disjuntivas (vide **Apêndice A**). Em geral, a última estação, chamada de processo puxador é uma célula. Se esta for uma linha de montagem, será representada por operação do tipo combinativa. Por outro lado, em determinadas empresas de manufatura, o processo final pode ser uma célula em U ou uma célula unitária, como será visto no estudo de caso. Cada estação possui dois pontos de armazenagem: um na entrada e outro na saída, sendo que, do ponto de vista do processo, o estoque de saída pertence ao processo fornecedor.

O VSM compreende o fluxo de materiais, explicado anteriormente, e o fluxo de informações, que representa os pedidos dos clientes e a emissão de ordens de programação diária da produção. Na Produção Nivelada, apenas o processo puxador recebe a programação diária. Este geralmente é o último na sequência das operações. Isto irá disparar o consumo de peças no processo imediatamente anterior (submontagens). A partir de então, este processo repõe a quantidade exata de submontagens consumidas pelo processo puxador, o que irá disparar uma sincronização dos fluxos de materiais, desde a linha de montagem até os processos anteriores.

Em um sistema puxado, apenas um único processo ou estágio produtivo deve receber a programação diária de produção, e, em seguida, disparar a produção nos estágios restantes com base no princípio do supermercado. Para a *Toyota*, este estágio é conhecido como “processo puxador” ou *Pacemaker*, e está representado em dois exemplos ilustrados na **figura 2.12**:



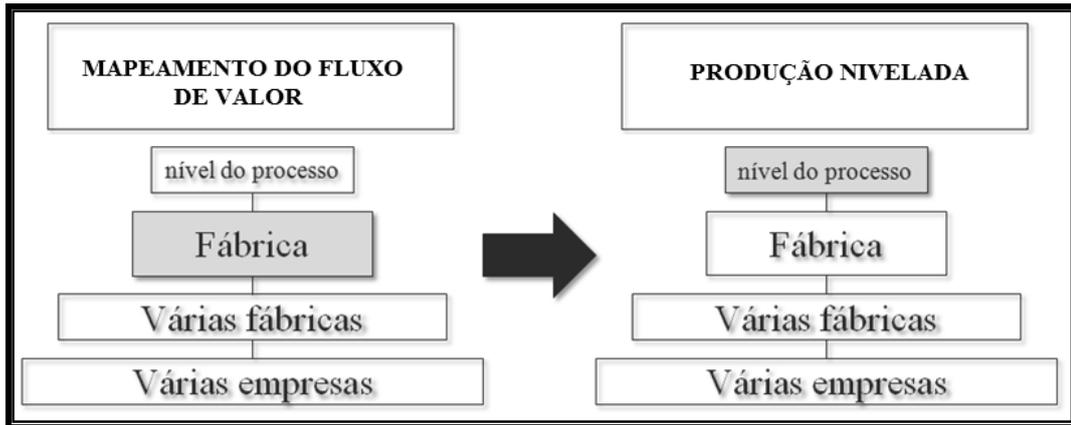
**Figura 2.12 – Exemplos de identificação do processo puxador. Fonte: Adaptado de Léxico Lean (2003).**

O exemplo 1 da **figura 2.12** representa o processo puxador em um sistema puxado de reposição, no qual o último processo dispara a reposição do supermercado pelos processos precedentes. O exemplo 2, por sua vez, também pode ser considerado um sistema puxado misto, composto de um sistema puxado associado ao sistema puxado sequenciado, no qual o processo 2 é o processo puxador. A produção do processo puxador é enviada aos processos posteriores em uma sequência primeiro a entrar, primeiro a sair (*First in, First out, FIFO*).

Ao se adotar a manufatura celular em fluxos de valor sem linhas de montagem, o tempo de preparação das máquinas influencia as decisões referentes ao sequenciamento da produção diária. Isto ocorre uma vez que, em sistemas de fabricação repetitiva, o tempo de *Set up* deve ser reduzido para viabilizar a produção de modelos variados.

### 2.7. MÉTODO DE SMALLEY PARA A IMPLANTAÇÃO DA PRODUÇÃO NIVELADA

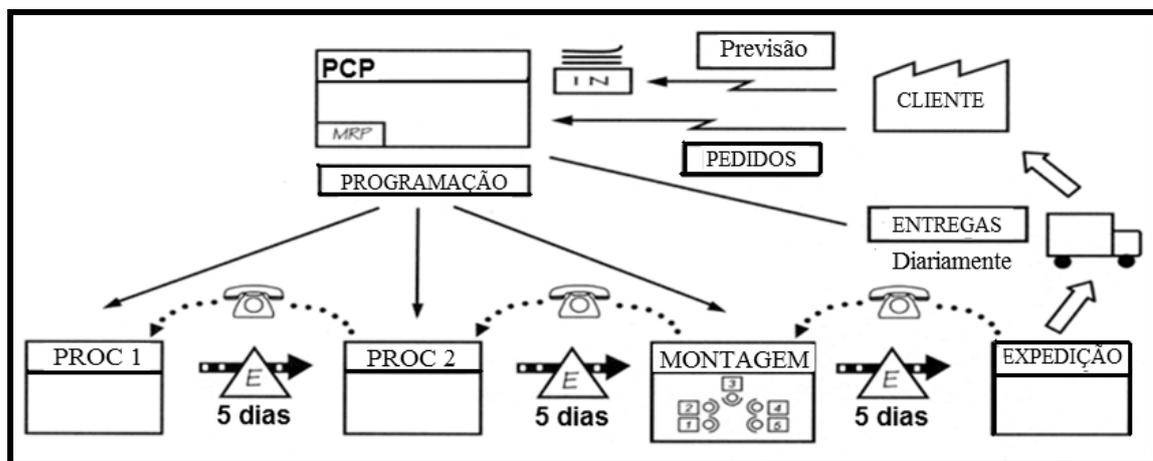
O método proposto por Smalley (2004) sucede a realização do mapeamento do fluxo de valor (*Value Stream Map, VSM*). Este apresenta um sentido mais amplo, que abrange toda a fábrica, enquanto que a Produção Nivelada se refere basicamente ao nível dos processos de produção. Esta diferenciação pode ser mais bem representada com base na **figura 2.13**:



**Figura 2. 13 – Comparação da abrangência do escopo entre o Mapa do Estado Futuro e a Produção Nivelada. Fonte: Rother & Harris (2003).**

Com base na **figura 2.13**, o VSM permite aos gerentes de produção uma visão mais sistêmica do fluxo de valor, ao passo que a Produção Nivelada representa uma melhoria na programação da produção, de forma a alinhar a demanda externa à capacidade produtiva. Por essa razão, considera-se que o sucesso da aplicação destas duas práticas está associado à aplicação da Manufatura Enxuta enquanto sistema de gestão, focalizando todas as modificações necessárias para se estabelecer o fluxo contínuo.

Smalley (2004) exemplifica a aplicação da Produção Nivelada em uma empresa hipotética chamada **Apogee**, que inicia a modificação das práticas de PCP a partir de um **estado atual**, representado por programação empurrada (SMALLEY, 2004). Esta situação inicial pode ser representada pela **figura 2.14**:



**Figura 2. 14 - Mapa do Estado Atual da empresa “Apogee” para a explicação do método de Produção Nivelada. Fonte: Adaptado de Smalley (2004).**

Nesta figura, Smalley apresenta, de forma simplificada, um fluxo de valor composto por dois processos de fabricação e uma célula de montagem, que são utilizados na produção de uma família de produtos automotivos da referida **Apogee**. Além disso, esta empresa apresenta um fluxo de produção em lotes maiores que os pedidos diários, restringindo a produção de modelos variados diariamente, conforme visualizado na **figura 2.15**:

Item	Categoria da demanda	Descrição do Espelho	Requisitos do cliente	Programação de montagem final (célula lado esquerdo)	
			Pedidos na segunda-feira	1º turno da segunda-feira	2º turno da segunda-feira
14509	A	Preto metálico	140	500	0
14504	A	Preto não-metálico	110	0	500
14506	A	Branco metálico	120	0	0
14502	A	Branco não-metálico	120	0	0
14508	A	Vermelho metálico	110	0	0
14505	B	Prata metálico	70	0	0
14503	B	Amarelo metálico	60	0	0
14507	B	Bronze metálico	70	0	0
14511	C	Roxo não-metálico	100	0	0
14512	C	Dourado não-metálico	100	0	0
		<b>Total</b>	1000	500	500

**Figura 2. 15 – Relatório de programação diária exemplificando a dificuldade em se produzir modelos variados devido ao tamanho dos lotes de produção. Fonte: Smalley (2004).**

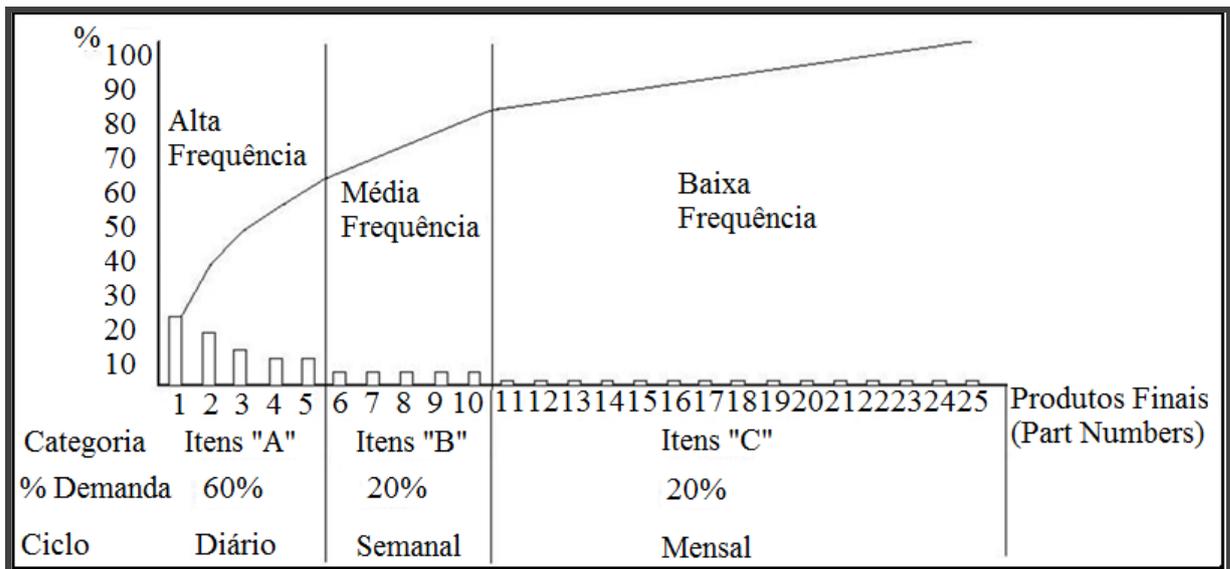
Tendo a **figura 2.15** como base, verifica-se a necessidade de nivelar a produção, reduzindo o tamanho dos lotes e distribuindo os modelos de produtos ao longo do intervalo de produção. Logo, para solucionar o problema de desequilíbrio entre a demanda e a capacidade de produção, Smalley (2004) propõe um método para a implantação da Produção Nivelada, composto por doze atividades, descritas:

### **2.7.1. Selecionar os itens com base em critérios de prioridade**

O planejamento do método proposto se inicia pela definição da prioridade a partir da qual os modelos diversos serão produzidos diariamente. Em outras palavras, se busca a definição de um critério que estabeleça a frequência de reposição dos diversos modelos de produtos ao longo de um dado intervalo de tempo.

Em seguida, partindo da regra de reposição dos supermercados - os itens vendidos devem ser imediatamente reabastecidos nas prateleiras – Smalley (2004) define que os itens mais vendi-

dos devem ser fabricados com maior frequência. Analogamente, a relação inversa também deve ser verificada. Por essa razão, o Smalley (2004) sugere a classificação ABC de volume de vendas a partir da qual é possível visualizar as três categorias de modelos de produtos: A, B e C, correspondentes a 60%, 20%, 20% da demanda média, respectivamente. O autor recomenda os ciclos de reposição: diário (A), semanal (B) e mensal (C) conforme a **figura 2.16**:



**Figura 2. 16 – Priorização dos produtos conforme a classificação ABC baseada em percentuais recomendados para os respectivos ciclos de reposição. Fonte: adaptado de Smalley (2004).**

Uma vez estabelecida esta regra, estabeleceu-se a divisão em cinco modelos de produtos pertencentes ao grupo de itens A, cinco do B e quinze itens C. A próxima decisão referiu-se à escolha das estratégias “produzir para estoque” ou “produzir sob encomenda”, de acordo com a classe a qual pertence os modelos de produtos.

### 2.7.2. Definir a estratégia de posicionamento dos produtos

Conforme explicado no início deste capítulo, a estratégia de posicionamento dos produtos afeta diretamente os níveis de estoques da fábrica, uma vez que, produzir para estoque ou montar contra pedido requerem, respectivamente, estoques de produtos acabados e de submontagens. Smalley (2004) exemplifica tais decisões tomadas na **Apogee**, que estão indicadas no **quadro 2.1**:

**Quadro 2. 1 – Decisões da empresa Apogee sobre as estratégias de posicionamento dos produtos “produzir para estoque” ou “produzir sob encomenda” para os itens A, B e C.**

<b>Opções</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Decisão da Apogee</b>
Produzir A, B e C para estoque	Rapidez na expedição	Aumento do espaço ocupado com estoque	Inviável
Produzir A, B e C sob encomenda	Menos espaço ocupado	Requer <i>lead time</i> curto e processos estáveis	Inviável
Produzir A e B sob encomenda e C para estoque	Menos estoque	Requer processos estáveis	Inviável
Produzir A e B para estoque e C sob encomenda	Estoque moderado	Mais aplicável na condição atual	Viável

Fonte: Adaptado de Smalley (2004).

Com base nesses critérios, Smalley (2004) sugere selecionar a política de produzir para estoque os itens A e B, mantendo estoque de produtos acabados destes modelos de produtos. Os itens C, por sua vez, não foram mantidos em estoque, uma vez que apresentam demanda em baixo volume. Por essa razão, estes itens são produzidos sob encomenda, quando houver pedidos, preferencialmente, em uma única vez a cada mês.

Vale ressaltar que o método proposto por Smalley (2004) é direcionado aos processos que possuem células de montagem com tempos de *Set up* iguais a zero, o que permite produzir lotes de tamanho reduzido. Sendo assim, a produção é nivelada a partir do conceito do *Pitch* associado ao tempo de produção de um lote de peças. No caso, este tempo equivale à produção de um lote equivalente a uma embalagem de peças dos produtos considerados.

### **2.7.3. Dimensionar o estoque de produtos acabados.**

Esta atividade relaciona-se ao cálculo do número de *Kanban* do supermercado de produtos acabados, o qual é constituído por três componentes: estoque de ciclo, para atender a demanda diária; estoque pulmão, para absorver as variações na demanda; e estoque de segurança, para proteger o fluxo de materiais contra paradas e problemas internos. Tal cálculo, sugerido por Smalley (2004), pode ser representado pela **equação 2.8**:

$$N = DD \cdot LT + DD \cdot LT \cdot \alpha + ((DD \cdot LT) + DD \cdot \alpha) \cdot \beta \quad (2.8)$$

Na equação anterior,  $\alpha$  representa o percentual de 25% do estoque de ciclo, para atender às variações de demanda; e  $\beta$  o fator de segurança adicional para atender às incertezas internas, como quebra de máquinas e defeitos da qualidade, correspondente a 20%. Logo, os parâmetros de cálculo de cada um dos três componentes do estoque, de acordo com a **equação 2.8**, estão exemplificados na **figura 2.17**:

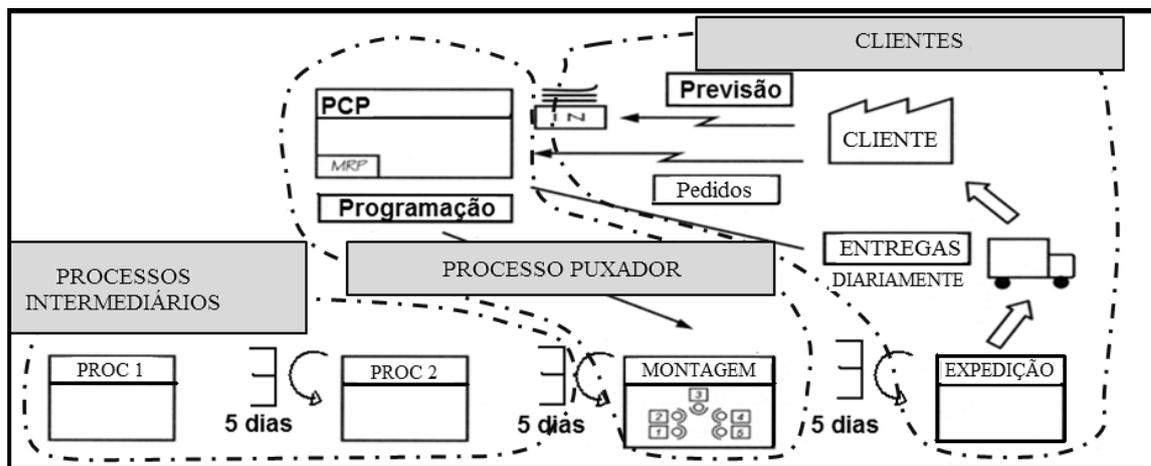
	Demanda média diária x Lead time de reposição	Estoque de ciclo
+	Varição da demanda (percentual do ciclo)	Estoque Pulmão
+	Fator de segurança (percentual do ciclo + pulmão)	Estoque de segurança
=		Estoque de produtos acabados

**Figura 2. 17 – Método de cálculo do número de Kanban para o dimensionamento do estoque dos produtos acabados. Fonte: Smalley (2004).**

Percebe-se, de acordo com a **figura 2.17**, que o método de cálculo proposto não leva em consideração as restrições sobre o tamanho mínimo dos lotes de produção. Inclusive, a **equação 2.8** não se relaciona às faixas do quadro-Kanban, conforme **equação 2.1**.

#### 2.7.4. Definir o processo puxador do fluxo de valor

A atividade seguinte consiste em selecionar o processo puxador, dividindo o mapa do estado futuro em malhas de implantação, conforme pode ser visualizado na **figura 2.18**:



**Figura 2. 18 - Mapa do Estado Futuro para a explicação do método de Produção Nivelada. Fonte: Adaptado de Duggan (2002) e Smalley (2004).**

Com base na figura, a malha central, representada pelo processo puxador, será a única a receber a programação diária da produção.

### 2.7.5. Definir como nivelar a produção no processo puxador

Esta atividade consiste em definir o plano nivelado dos diversos modelos de produtos, para, a partir dos tamanhos dos lotes e dos ciclos de produção, definir o número de janelas de tempo dedicadas à produção de cada tipo de produto. Logo,

a) Cálculo do *Pitch* de produção (tempo para produzir um lote)

Iniciando-se pelo cálculo do *Pitch* de produção, isto é, o tempo gasto para produzir um lote equivalente a uma embalagem de peças, conforme a **equação 2.9**:

$$Pitch = Takt \cdot Quantidade\ Embalagem \quad (2.9)$$

Assim, multiplica-se o tempo *Takt* pela quantidade de peças de uma embalagem padrão, conforme exemplo da **figura 2.19**:

Tempo Takt	x	Quantidade na embalagem	=	Pitch
54 s	x	10 peças	=	540 s (9 min)

**Figura 2.19 – Exemplo de cálculo do *Pitch* de produção, para um item qualquer. Fonte: Smalley (2004).**

b) Cálculo do número de intervalos *Pitch* por turno de produção

Em seguida, levando em conta que os vinte e cinco modelos de produtos apresentam o mesmo *Pitch* de produção, calcula-se o número de intervalos *Pitch* por turno de produção para cada um dos modelos. Isto é visualizado com base na **equação 2.10**:

$$Intervalo = \frac{TDP}{Pitch} \quad (2.10)$$

Com base nesse critério, se um turno de 450 min equivale a 50 intervalos *Pitch* de 9 min, conforme apresentado na **figura 2.20**:

Tempo Disponível	:	<i>Pitch</i>	=	Intervalos
450 min	:	9 min	=	50 intervalos

**Figura 2.20 – Exemplo de cálculo do número máximo de intervalos *Pitch* de produção por turno. Fonte: Smalley (2004).**

Logo, planeja-se produzir 50 embalagens de peças de diferentes modelos de produtos em um único turno.

c) Número de intervalos *Pitch* para cada item.

Em seguida, levando em conta que os vinte e cinco modelos de produtos apresentam o mesmo *Pitch* de produção, calcula-se o número de intervalos *Pitch* por turno de produção para cada um dos modelos, baseado na classificação ABC (“% do *mix* de produção”) previamente explicada, de acordo com a **figura 2.21**:

Tempo Disponível	x	% do mix de produção	=	Intervalo por item (tempo equivalente)
50 intervalos	x	60%	=	30 reservados para A (9 min x 30 = 270 min)
50 intervalos	x	20%	=	10 reservados para A (9 min x 10 = 90 min)
50 intervalos	x	20%	=	10 reservados para A (9 min x 10 = 90 min)

**Figura 2.21 – Exemplo de cálculo do número máximo de intervalos *Pitch* de produção por turno. Fonte: Smalley (2004).**

Significa dizer que, em um turno de trabalho, a produção deve ser nivelada de tal forma a produzir os itens A, B e C nas quantidades de 60%, 20% e 20%. Em outras palavras, para cada três produtos classe A, devem ser produzidos um produto classe B e um produto classe C, de acordo com a demanda real diária.

a) **Nivelamento da produção dos itens A, B e C**

Finalmente, a Produção Nivelada será obtida ao se aplicar estes critérios aos vinte e cinco modelos de produtos, gerando o plano nivelado descrito na **figura 2.22**:

	Itens A 270 min total 30 intervalos					Itens B 90 min total 10 intervalos		Itens C 90 min total 10 intervalos
Turno 1	6 #14509	6 #14502	6 #14504	6 #14506	6 #14508	6 #14501	6 #14510	A determinar
Turno 2	6 #14509	6 #14502	6 #14504	6 #14506	6 #14508	6 #14501	6 #14510	A determinar
Turno 1	6 #14509	6 #14502	6 #14504	6 #14506	6 #14508	6 #14501	6 #14510	A determinar
Turno 2	6 #14509	6 #14502	6 #14504	6 #14506	6 #14508	6 #14501	6 #14510	A determinar
Turno 1	6 #14509	6 #14502	6 #14504	6 #14506	6 #14508	6 #14501	6 #14510	A determinar
Etc.								
	Demanda média por turno					300 unidades		100 unidades
	Total de tipos de produtos finais					5 itens A		5 itens B
								100 unidades
								15 itens C

**Figura 2.22 – Exemplo de plano nivelado por turno para a produção dos vinte e cinco modelos de produtos. Fonte: Smalley (2004).**

Este plano contempla um intervalo de um turno, possível dado os atuais tempos de preparação das máquinas reduzidos. Ainda com base na **figura 2.22**, percebe-se que há janelas de tempo para os itens A, B e C iguais a 270 min, 90 min e 90 min, respectivamente.

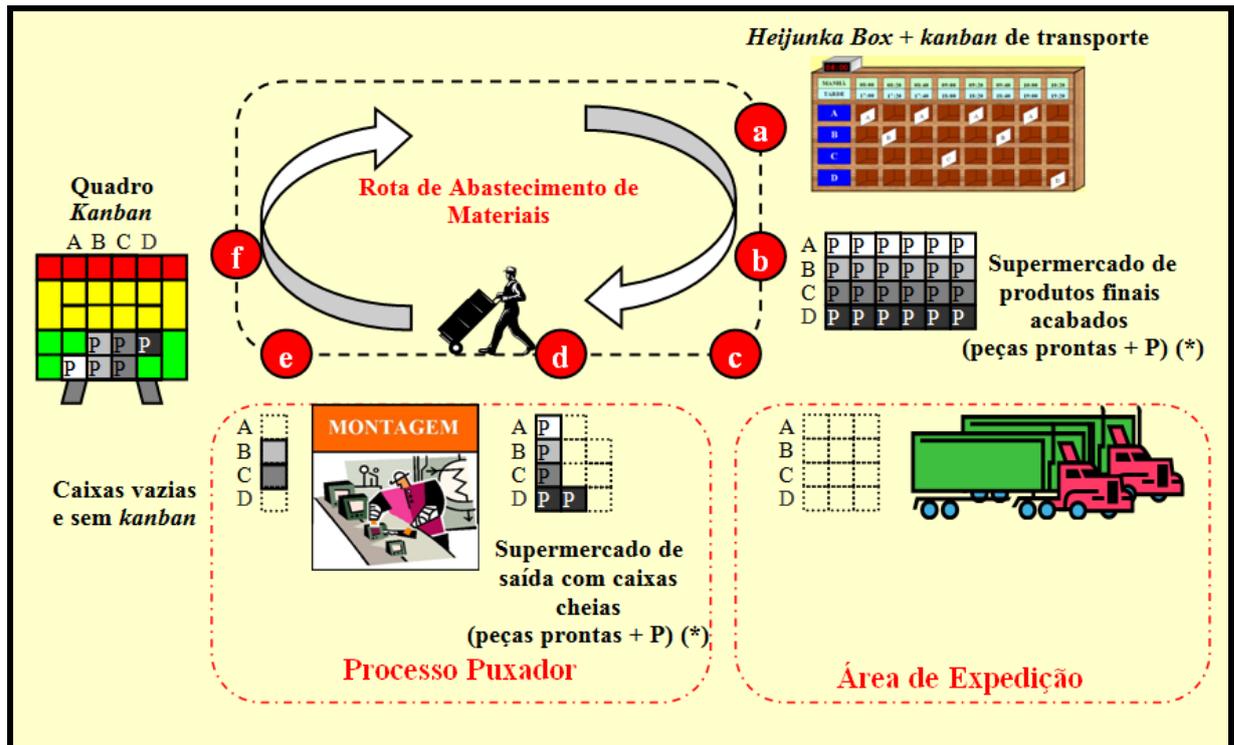
Dando continuidade, os passos seguintes referem-se à aplicação dos conceitos em todo o fluxo de valor, e inclui os processos anteriores ao processo puxador, a logística da produção e os supermercados de materiais em processo e de matérias-primas. Finalmente, o autor propõe a aplicação da Produção Nivelada em outros fluxos de valor da **Apogee**.

### 2.7.6. Transmitir a informação da demanda ao processo puxador

Uma vez que o nivelamento da produção exige a conexão entre o supermercado de produtos finais acabados – pertencentes à malha dos clientes – e o processo puxador, Smalley (2004) apresenta dois tipos básicos de transmissão da demanda ao processo puxador: a **Retirada Compassada** e a **Retirada em Lotes**. Estas regras partem do princípio da reposição do supermercado:

a) **Tipo A: retirada compassada.**

A retirada compassada tem a vantagem de possibilitar a expedição de produtos diversas vezes ao dia, em lotes pequenos e em alta frequência. Isto exige que as rotas de materiais sejam constantemente aperfeiçoadas, bem como tempos de *Set up* sejam reduzidos. De modo alternativo, portanto, uma regra prática consiste em utilizar *Kanban* de transporte no *Heijunka Box* (SMALLEY, 2004). Esta opção, bem como a indicação das etapas, é mostrada na **figura 2.23**:



**Figura 2.23 – Retirada Compassada com *Kanban* de transporte. (\*) P: Kanban de Produção. Fonte: elaborado pelo autor.**

Neste caso, as etapas do trabalho do movimentador de materiais são descritas:

- O movimentador de materiais inicia a rota ao retirar os cartões correspondentes ao intervalo *Pitch*. Em seguida, se dirige ao supermercado;
- No supermercado de produtos acabados, inicia-se pela entrega das embalagens com peças prontas do ciclo anterior. Em seguida, ele retira as embalagens correspondentes aos *Kanban* de retirada, destaca os respectivos *Kanban* de produção e se dirige à Expedição
- Na Expedição, deixa os produtos correspondentes ao *Kanban* de transporte, recolhe as embalagens vazias e se dirige ao processo puxador;

- (d) No processo puxador, ele recolhe embalagens com peças prontas correspondentes aos cartões de transporte do ciclo anterior;
- (e) Deixa as embalagens vazias na entrada do processo puxador;
- (f) Anexa os *Kanban* de produção ao quadro *Kanban* do processo puxador, devolve os *Kanban* de transporte ao PCP e reinicia o ciclo.

Este método se diferencia do sistema de dois cartões, pois os *Kanban* de transporte não retornam às embalagens. Ao contrário, são retidos pelo movimentador de materiais para serem repassados ao PCP para um novo carregamento do *Heijunka Box* no próximo turno de trabalho. Destacam-se, inclusive, as seguintes vantagens (SMALLEY, 2004):

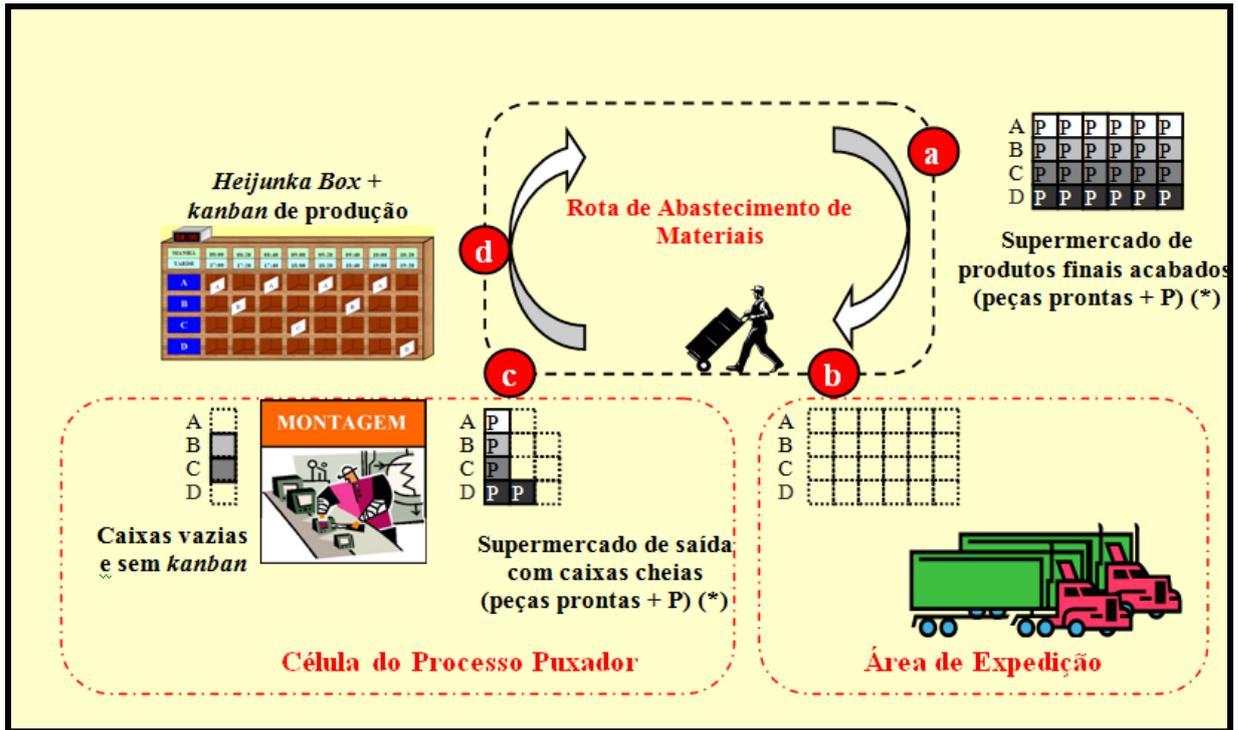
- A entrega de materiais à Expedição é sincronizada ao ritmo de produção;
- A retirada dos produtos acabados dispara a reposição destes itens no processo puxador;
- O sistema possibilita o autogerenciamento no chão-de-fábrica.

#### b) **Tipo B: Retirada em lotes**

Esta opção apresenta a sequência de trabalho descrita com os passos seguintes:

- (a) O movimentador de materiais recebe a programação diária, contendo uma lista sequencial e os diversos *Kanban* de transporte. Assim, ele inicia o ciclo no supermercado de produtos acabados, onde retira os materiais referentes aos pedidos do período (turno ou dia), destaca os *Kanban* de produção das respectivas embalagens e se dirige à Expedição;
- (b) Na Expedição, organiza os materiais, agrupando-os por modelos, em áreas específicas e se dirige ao processo puxador;
- (c) No processo puxador, o movimentador de materiais recolhe todas as embalagens com peças prontas do ciclo anterior;
- (d) Ainda no processo puxador, o movimentador insere os *Kanban* de produção retirados das embalagens no *Heijunka Box* da célula, com base na sequência diária emitida pelo PCP. Isto autoriza o início da reposição dos respectivos itens de acordo com o incremento *Pitch*.

Neste caso, estes passos são indicados conforme a **figura 2.24**:



**Figura 2.24 – Expedição com Retirada em lotes com Kanban de produção. (\*) P: Kanban de Produção. Fonte: adaptado de Harris *et al* (2003).**

O ritmo de retirada de produtos para a Expedição depende do valor do *Pitch* e do nivelamento da produção diária para uma família de produtos. Quando houver poucos produtos com o mesmo *Pitch* de produção, utiliza-se a retirada compassada de materiais, na qual os Kanbans, as embalagens vazias e as cheias, são movidas, das células produtoras às células clientes, e destas para a Expedição, em um mesmo intervalo.

Concluída a implantação da Produção Nivelada no processo puxador, Smalley (2004) define ainda as diretrizes para a expansão do sistema, além da manutenção e melhoria contínua, completando os doze passos do método.

## 2.8. COMENTÁRIOS SOBRE O MÉTODO DE SMALLEY

O método de planejamento, cálculo e implantação da Produção Nivelada apresentado neste capítulo representa uma aplicação de um modelo de PCP em um sistema de manufatura hipotético, constituído por três etapas produtivas: moldagem por injeção, pintura e montagem. Esta última consiste em uma célula de montagem e representa o processo puxador. Logo, deve ser a única etapa do fluxo de valor na qual a programação diária da produção será emitida.

Este método, embora apresente características de simplicidade, é de importância vital para a compreensão da Produção Nivelada, tanto em relação à sequência de atividades, como no vínculo dos elementos teóricos, por meio de uma concatenação lógica. Por outro lado, apesar da sua relevância, o método proposto por Smalley (2004), apresenta as limitações listadas:

- 1º: O método é aplicado em um fluxo de valor com apenas vinte e cinco modelos de produtos, não representando, portanto, um cenário de diversidade de produtos.
- 2º: Na célula de montagem, o tempo de preparação das máquinas é reduzido, próximo a zero. Logo, não há restrição quanto ao tamanho do lote de produção e, vale ressaltar, esta premissa não se aplica à maioria dos sistemas de fabricação de peças e bens de consumo;
- 3º: Os vinte e cinco modelos de produtos são fabricados em lotes do mesmo tamanho, logo, possuem o mesmo *Pitch* de produção;
- 4º: Além do mesmo *Pitch*, o tempo de fabricação é praticamente igual para os vinte e cinco modelos de produtos, por isso, considerou-se o mesmo valor para os produtos;
- 5º: O método de cálculo do *Kanban*, utilizado para o dimensionamento dos supermercados, não considera o tamanho dos lotes de produção, tal qual ocorre no modelo de Tardin (2001);
- 6º: O plano nivelado, descrito por Liker & Meier (2007), não é mencionado de forma clara. Por essa razão, o nivelamento da produção diária utiliza o conceito de número de intervalos *Pitch* para cada modelo, representando uma simplificação do conceito em um caso particular com tempos de *Set up* reduzidos.

Estes argumentos são suficientes para sustentar a afirmação de que há limitações no método proposto por Smalley (2004), que dificultam a compreensão da sua utilização em sistemas de fabricação repetitiva com produção em lotes. Esta lacuna justifica a elaboração de um método mais abrangente e sistêmico, que será apresentado no capítulo 3.

## 2.9. PRINCÍPIOS DOS PROCESSOS ENXUTOS EM PRODUÇÃO NIVELADA

Com base nos elementos apresentados neste capítulo, em particular a Manufatura Enxuta, os processos enxutos, o PCP Enxuto, composto pelo Sistema *Kanban* e o Nivelamento da Produ-

ção, esta última seção apresentará os princípios norteadores de uma Produção Nivelada, que servirão como referência para a análise do estudo de caso bem como para a definição do método de implantação proposto. Os sete princípios de gestão dos Processos Enxutos são desdobrados em políticas oriundas da Produção Nivelada e do Sistema *Kanban*.

### **2.9.1. Sete princípios de gestão dos processos enxutos**

1º: Implante o fluxo contínuo para trazer os problemas à tona.

2º: Utilize sistemas puxados para evitar a superprodução.

3º: Nivele a produção (*Heijunka*).

4º: Crie a cultura de parar e resolver os problemas para obter qualidade na primeira tentativa.

5º: Padronize as tarefas como base para a melhoria contínua e a autonomia dos funcionários.

6º: Utilize controles visuais para expor os problemas e melhorar o fluxo de produção.

7º: Utilizar tecnologias confiáveis que sirvam aos processos e às pessoas e criar valor.

Estes sete princípios propostos por Liker (2005) podem ser desdobrados em políticas, oriundas dos dois elementos importantes da Manufatura Enxuta: o Nivelamento da Produção e o Sistema *Kanban*.

### **2.9.2. Políticas do nivelamento da produção (*Heijunka*)**

De acordo com os conceitos explicados no início deste capítulo, o nivelamento da produção visa a produção dos itens A e B em ciclos diários, mediante a redução gradual dos tamanhos dos lotes. Logo, as suas políticas decorrentes são listadas:

1º: Priorizar os itens de maior contribuição às receitas mensais (volume), definindo a frequência de cada classe de produtos.

2º: Orientar a redução gradual dos tamanhos dos lotes.

3º: Programar apenas o processo puxador (um ponto do fluxo).

Estas políticas, associadas ao método de planejamento e cálculo da Produção Nivelada, são requisitos obrigatórios para garantir a melhorias das práticas de PCP, que são complementados mediante a adoção de políticas oriundas das funções e regras do Sistema *Kanban*, que estão relacionadas às práticas de programação e controle da produção de curto prazo.

### **2.9.3. Políticas da produção puxada (Sistema *Kanban*)**

Conforme apresentado anteriormente, as políticas que orientam a Produção Nivelada devem apresentar as características básicas das funções e regras explanadas na seção do Sistema *Kanban*:

- 1°: Fluxos de informação simplificados e confiáveis.
- 2°: Reposição de itens consumidos no supermercado.
- 3°: Controlar a produção dos processos anteriores.
- 4°: Evitar a superprodução.
- 5°: Orientar as ações de melhoria contínua (produtividade e métodos de trabalho).
- 6°: Aumentar a autonomia ao descentralizar a tomada de decisões de programação.
- 7°: Deve ser orientado para a redução gradual do estoque em todo o fluxo de valor.

Logo, as características de uma Produção Nivelada são dadas mediante a adoção dos princípios dos processos enxutos, desdobrados em políticas referentes ao nivelamento da produção e das funções e práticas do Sistema *Kanban*. Este modelo servirá como referência para a avaliação do caso da empresa pesquisada, conforme será apresentado no capítulo 4.

## **2.10. COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO 2**

Este capítulo apresentou os fundamentos teóricos necessários ao entendimento do método de planejamento e cálculo da Produção Nivelada, partindo dos objetivos da Manufatura Enxuta, bem como as suas características principais e elementos teóricos. Na sequência, foram apresentados os modelos de PCP tradicional e o da *Toyota*, necessários ao entendimento do conceito de Produção Nivelada. Estes modelos foram divididos nos horizontes de médio e de cur-

to prazo, sendo o primeiro composto pelo plano nivelado, o cálculo do *Kanban* para o detalhamento dos materiais e os conceitos de tempo *Takt*, *Pitch* de produção e incremento *Pitch*. Estes estão associados às cinco atividades de programação e controle da produção.

No médio prazo, por sua vez, o Plano Nivelado representa o elemento central do planejamento e cálculo da Produção Nivelada, e, inclusive, consiste na definição dos ciclos de produção, em um dado intervalo tempo, para cada categoria de modelos de produtos, os chamados itens A, B e C. Vale lembrar que os critérios propostos por Liker & Meier (2007) são apenas balizadores, e não produzem soluções ótimas.

Foi visto que o tempo *Takt* é mais indicado para sistemas com linhas de montagem, para ditar o ritmo de produção baseado na demanda e no tempo disponível para produzir. Alternativamente, o *Pitch* ajusta-se melhor aos sistemas de fabricação, cujos volumes de produção podem chegar a dezenas ou centenas de milhares de peças produzidas diariamente. Nestes casos, o quadro de controle horário da produção representa uma gestão visual útil no chão-de-fábrica, que permite reagir aos problemas que impedem a realização da programação diária.

Finalizando o horizonte de médio prazo, o plano detalhado dos materiais é realizado tendo o método de cálculo do *Kanban* como critério fundamentado no Ponto de Ressuprimento, levando em conta o tamanho dos lotes, o *lead time* de produção e o estoque de proteção. Estes três elementos relacionam-se às três faixas do quadro-*Kanban*, como meio de gestão visual dos níveis de estoques e foram abordadas as regras de operação e os tipos de *Kanban*.

No que tange ao curto prazo, foi feita uma explanação do funcionamento das cinco atividades de programação e controle da produção em sistemas de Manufatura Enxuta. Na sequência, o fluxo de valor e o processo puxador foram apresentados. Estes conceitos serão considerados como parte dos critérios de delimitação do método proposto.

O método teórico para planejamento e cálculo da Produção Nivelada, proposto por Smalley (2004), foi apresentado, incluindo os seus nove passos para a implantação. Este método proporciona uma visão geral sobre o desenvolvimento da Produção Nivelada. Entretanto, foram identificadas algumas limitações, dentre as quais, é orientado a células de montagem, com poucos produtos, tempos de *Set up* e lotes de produção reduzidos. Estas dificultam a sua aplicabilidade em sistemas de fabricação repetitiva com produção em lotes. Mesmo assim, ressal-

ta-se a sua importância para esta pesquisa, pois, juntamente com os conceitos apresentados neste capítulo, servirá de base para o método proposto e apresentado no capítulo 3.

Finalmente, visando estabelecer um fechamento da teoria apresentada, ao final deste capítulo foram apresentados os requisitos básicos para a Produção Nivelada, fundamentada em princípios oriundos dos processos enxutos, proposto por Liker (2005), cujo desdobramento culminou em políticas básicas. Estas são decorrentes dos objetivos do nivelamento da produção, associados às funções do Sistema *Kanban*. Logo, estes conceitos servirão de base para a avaliação e estudo de caso da empresa pesquisada, de acordo com o capítulo 4.

O capítulo 3, a seguir, apresenta o método proposto para a Produção Nivelada, baseado nos elementos teóricos explanados neste presente capítulo.

## CAPÍTULO 3

### 3. DESCRIÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

O objetivo deste capítulo é apresentar o método de planejamento, cálculo e implantação da Produção Nivelada orientados a sistemas de fabricação com produção em lotes. Isto será realizado a partir da análise crítica dos elementos teóricos encontrados na literatura, apresentados no capítulo 2. Este objetivo será alcançado por meio de duas etapas.

Iniciando-se pela a apresentação das práticas de planejamento e controle, delineou-se a estrutura do conceito de Produção Nivelada, levando em consideração o método de elaboração do plano nivelado proposto por Liker & Meier (2007) e do método de planejamento, cálculo e implantação da Produção Nivelada, de Smalley (2004). Em seguida, com base nas limitações dos dois métodos, faz-se uma proposta alternativa para a elaboração e cálculo do plano nivelado de forma a atender às particularidades dos sistemas de fabricação com produção em lotes.

Depois de concluídas as etapas, ao final deste capítulo encontram-se as etapas para a implantação do método proposto. No **Apêndice B**, segue o material complementar sobre os objetivos de desempenho e seus respectivos indicadores relacionados à flexibilidade, rapidez e confiabilidade. Tais indicadores serão utilizados para a comparação do desempenho do fluxo de valor da empresa estudada, antes e depois da aplicação do método proposto.

Observou-se que a literatura apresenta os conceitos necessários ao método proposto sem um vínculo estruturado entre eles. Isto demandou por uma análise dos principais elementos, seguida de uma síntese de forma lógica e ordenada. Tais conceitos estão explicados nas próximas seções.

#### *3.1. MÉTODO DE PLANEJAMENTO E CÁLCULO DA PRODUÇÃO NIVELADA*

Conforme visto anteriormente na **seção 2.4.1**, a representação genérica dos métodos de PCP da *Manufatura Enxuta* difere do modelo geral de PCP nos níveis de médio e curto prazo. Por isso, esta dissertação focalizando apenas estes dois níveis, e, para sistemas de fabricação e montagem, abrangem os elementos apresentados no **quadro 3.1**:

**Quadro 3. 1 - Atividades integrantes da Produção Nivelada para sistemas de fabricação com produção para estoque.**

MÉDIO PRAZO (TÁTICO)		
1	Definição da Carga Mensal	Plano de Carga Mensal
2	Definição do plano nivelado	Distribuição do volume e do <i>mix</i>
3	Dimensionamento dos estoques no processo puxador	Sistema <i>Kanban</i>
4	Cálculo do tempo <i>Takt</i> e o incremento <i>Pitch</i>	Intervalo de controle
CURTO PRAZO (OPERACIONAL)		
1	Definição da carga diária	Pedidos diários confirmados
2	Cinco atividades de controle da produção	
	a) Carregamento	Sistema <i>Kanban</i>
	b) Seqüenciamento	Métodos manuais ou algoritmos
	c) Programação	Caixa de Nivelamento ( <i>Heijunka Box</i> )
	d) Liberação	Fluxo dos Cartões (Sistema <i>Kanban</i> )
	e) Controle	Incremento <i>Pitch</i> (turno, hora)

Fonte: Elaborado pelo autor.

O nível *Tático* consiste em uma produção nivelada, de modo a manter a capacidade constante por longos períodos de tempo, gerando um plano nivelado para um intervalo inferior a dez dias. Para efeito de simplificação, a escolha da polícia de estoque de proteção é parte integrante da definição da carga mensal planejada. O Operacional, por seu turno, abarca uma simplificação do fluxo de informações das cinco atividades de controle da produção.

O **quadro 3.1** apresenta os principais elementos da Produção Nivelada e abarca o fluxo de informações necessárias ao desenvolvimento do método proposto, que serão explicadas:

### **3.1.1. Planejamento de Médio Prazo**

Este nível abrange quatro atividades: Definição da carga mensal, definição do plano nivelado, dimensionamento dos estoques no fluxo de valor e o cálculo do tempo *Takt* planejado, que serão vistas com mais detalhes nas seções seguintes:

- **Definição do plano de carga mensal**

Inicialmente, cabe ao departamento responsável pelo PCP determinar como definir a estimativa de demanda para cada modelo de produto. Como prática geral, a partir de um *software* de MRP, o PMP fornece os dados de histórico de vendas combinados aos dados da demanda prevista são utilizados de modo a gerar a carga mensal para as famílias de produtos. Porém, cabe ressaltar que os critérios devem estar compatíveis à natureza dos processos produtivos e tecnologias, não havendo uma política universal que atenda à quaisquer segmentos industriais.

Por último, a partir das informações do PMP – o qual fornece uma demanda agregada para famílias de produtos – esta atividade consiste em determinar o volume total da demanda por diversos modelos de produtos, isto é, de forma desagregada, bem como os estoques de proteção. Assim, cada modelo de produto receberá uma estimativa de quanto será consumido no próximo mês de produção.

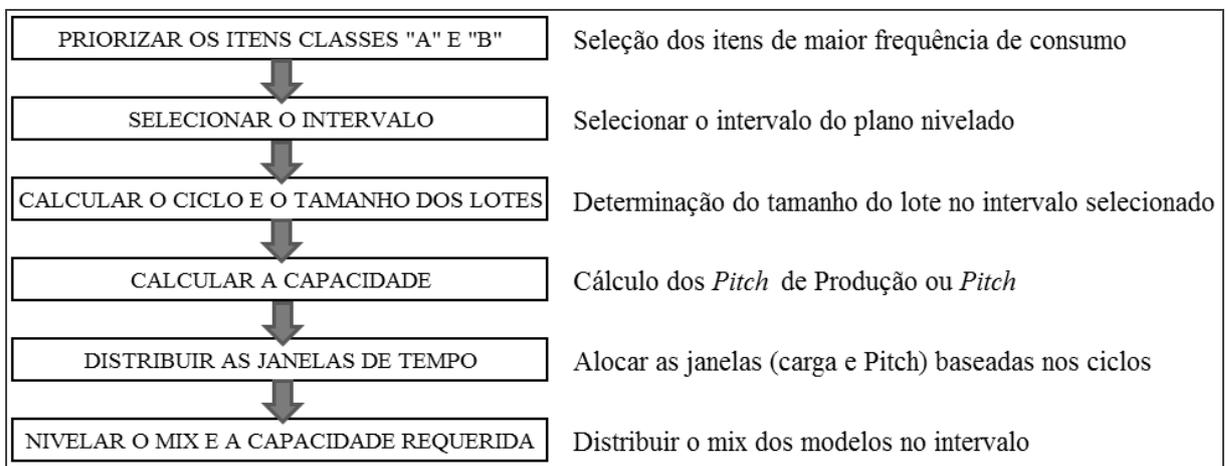
- **Definição do plano nivelado**

Esta atividade é de responsabilidade do departamento de PCP e consiste na seleção dos itens que farão parte do plano nivelado. Logo, elaborar um plano nivelado corresponde a estabelecer uma distribuição tanto do volume quanto do *mix* de produtos de um fluxo de valor de forma conveniente para uma produção mais uniforme ao longo do tempo.

Por outro lado, levando em consideração que um plano representa uma condição desejada, não se deve afirmar que o plano nivelado representa uma “programação congelada”. Isto ocorre uma vez que a programação diária será realizada a partir da reposição do estoque de produtos finais acabados mediante a retirada destes para a Expedição. Ou seja, partindo do

princípio da reposição dos supermercados, a retirada de produtos autoriza a produção do mesmo, na mesma quantidade, no momento exato.

Por essa razão, dentre as regras existentes na literatura, a mais difundida consiste em selecionar o conjunto de produtos que corresponda a 80% do volume médio mensal, com base em histórico recente de vendas. Em outras palavras, o plano nivelado deve ser elaborado priorizando apenas os modelos de produtos mais importantes para a receita do fluxo de valor. Para sistemas de manufatura com operações de fabricação. Com base nessa regra, as etapas de elaboração de um plano nivelado podem ser graficamente resumidas e ordenadas a partir da **figura 3.1**:



**Figura 3. 1 – Fluxo de informações de definição do plano nivelado. Fonte: elaborado pelo autor.**

Depois de determinar a carga mensal para as famílias de produtos e para modelos de produtos individuais, o responsável pela função PCP deve selecionar os itens que farão parte do plano nivelado. Para tal, é preciso estabelecer um intervalo, ou seja, por período de tempo menor que um mês, no qual a gama de modelos de produtos mais significativos – os que representam cerca de 80% do volume de produção – será uniformemente distribuído. Por exemplo, um plano nivelado por utilizar intervalos de 6, 7, 8, 10 ou mais dias. Não existe um parâmetro exclusivo que defina um valor mais ou menos adequado. E é por essa razão esta decisão é bastante particular a cada sistema de produção.

As decisões de nivelamento consistem em duas opções: distribuir a carga do intervalo representada pelos lotes de produção de cada um dos modelos de produtos; distribuir a capacidade

requerida de processamento dos lotes referidos anteriormente. A primeira opção depende de três parâmetros: a capacidade produtiva do processo puxador, expresso em termos de taxas de produção (por exemplo, peças por dia), a carga mensal definida com base no Plano Mestre de Produção para o mês corrente e a carga do intervalo de nivelamento. Por exemplo, o plano nivelado de oito dias ilustrado na **tabela 3.1**:

Modelo	Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	Demanda Mensal
A	1D	250	250	250	250	250	250	250	250	6.000
B	1D	220	220	220	220	220	220	220	220	5.280
C	1D	210	210	210	210	210	210	210	210	5.040
D	2D	256	0	256	0	256	0	256	0	3.072
E	2D	0	250	0	250	0	250	0	250	3.000
F	2D	150	0	150	0	150	0	150	0	1.800
G	4D	0	240	0	0	0	240	0	0	1.440
H	4D	0	0	0	180	0	0	0	180	1.080
I	4D	180	0	0	0	180	0	0	0	1.080
J	4D	0	0	140	0	0	0	140	0	840

**Tabela 3. 1 – Exemplo de plano nivelado de oito dias com os lotes de produção e demanda mensal. Fonte: adaptado de Liker & Meier (2007).**

Considere que o item “A” na tabela 3.1 tem demanda mensal planejada de 6.000 peças. Uma vez que o intervalo de nivelamento consiste em oito dias, considera-se que a carga mensal deste item deve ser igualmente distribuída ao longo do intervalo, segundo a **equação 3.1**:

$$Carga\ Intervalo = \frac{Demanda\ Mensal}{Número\ de\ Intervalos} \quad (3.1)$$

Considerando que um mês tem vinte e quatro dias de produção, um intervalo de oito dias será repetido três vezes. Logo, substituindo os valores dados no exemplo:

$$Demanda\ Mensal = 6.000\ peças$$

$$Mês\ produtivo = 24\ dias$$

$$Intervalo = 8\ dias$$

$$Número\ de\ intervalos = 3$$

$$\text{Carga '8 Dias'}(\text{item A}) = 6.000 / 3 = 2.000 \text{ peças}$$

Na sequência, após determinar a carga do intervalo para cada um dos modelos de A até J – Os modelos “outros” não farão parte da análise por não haver informações disponíveis – é necessário determinar o ciclo de produção, o qual está relacionado ao número de *Set up* de cada modelo no intervalo selecionado. Por exemplo, para os modelos com ciclo diário (1D), serão considerados oito *Set up* no intervalo de oito dias. Em outras palavras, o tamanho do lote será calculado dividindo a carga do intervalo pelo número de *Set up* desejado para cada modelo.

Na mesma figura é possível visualizar a seguinte divisão de ciclos:

- Ciclos de 1 dia: A (250 peças), B (220 peças) e C (210 peças)
- Ciclos de 2 dias D (256 peças), E (180 peças) e F (150 peças)
- Ciclos de 4 dias: G (240 peças), H (180 peças), I (180 peças) e J (140 peças)

Os cálculos realizados foram então consolidados na planilha eletrônica, representada pela **tabela 3.2**:

Modelo	Demanda Mensal (peças)	Demanda relativa ao Modelo T	Ciclo	Número setup por mês	Número set up intervalo	Tamanho do lote (peças)	Lote mínimo (peças)
A	6.000	100%	1D	24	8	250	250
B	5.280	88%	1D	24	8	220	220
C	5.040	84%	1D	24	8	210	210
D	3.072	51%	2D	12	4	256	256
E	3.000	50%	2D	12	4	250	250
F	1.800	30%	2D	12	4	150	150
G	1.440	24%	4D	6	2	240	240
H	1.080	18%	4D	6	2	180	180
I	1.080	18%	4D	6	2	180	180
J	840	14%	4D	6	2	140	140

**Tabela 3. 2 - Tabulação dos dados para a definição do ciclo de produção dos dez modelos de produtos e os respectivos lotes mínimos de produção. Fonte: elaborado pelo autor.**

Nesta etapa, é importante que as restrições quanto ao tamanho do lote sejam avaliadas e informadas, uma vez que a coluna referente ao “tamanho do lote” representa os valores teóricos relacionados ao ciclo de produção selecionado. Porém, nem sempre estes valores serão técnica ou economicamente viáveis. Nesses casos, a coluna com valores “lote mínimo” deve ser

preenchida. Vale ressaltar que não há uma regra que atenda a qualquer tipo de sistemas de produção, e cada fluxo de valor deverá estabelecer os próprios critérios com base em suas respectivas limitações de capacidade produtiva.

A segunda opção consiste em nivelar o *mix* de produtos utilizando a capacidade requerida para processamento da carga nivelada no intervalo de referência. Esta opção é justificada uma vez que, em sistemas de fabricação, as taxas de produção podem variar entre os diversos modelos que compõem uma família de produtos. Por esta razão, ao invés de nivelar o *mix* de produtos e a carga (demanda), se busca nivelar o *mix* e a capacidade requerida. Esta, por sua vez, é expressa em unidade de tempo, relacionada ao *Pitch* ou *Pitch de Produção*, ou seja, o tempo teórico em que a máquina ou processo estará ocupado produzindo o lote previamente definido de um dado modelo de produto.

Com base nessa definição, o incremento *Pitch* é dado pela **equação 3.2**:

$$Pitch = T_{SET} + T_{PROC} \quad (3.2)$$

Onde:

*Pitch* = *Pitch de Produção*, expresso em minutos

$T_{SET}$  = Tempo de *Set up* para um dado modelo de produto, expresso em minutos

$T_{PROC}$  = Tempo teórico de processamento, expresso em minutos.

O  $T_{PROC}$  é o resultado do produto do tempo de ciclo, em minutos, pelo tamanho do lote de produção, expresso em peças. O tempo de ciclo é o tempo necessário para se produzir duas peças de um dado produto e é geralmente expresso em minutos ou em segundos. Pode ser expresso pela **equação 3.3**:

$$T_{PROC} = TC \cdot LOTE \quad (3.3)$$

Onde:

TC = Tempo de Ciclo, expressa em minutos

LOTE = tamanho do lote, expresso em peças

Para ilustrar esta alternativa, considera-se um exemplo teórico, conforme o exemplo abaixo:

Dados

$$T_{\text{SET}} = 25 \text{ min}$$

$$TC = 0,75 \text{ min}$$

$$\text{LOTE} = 200 \text{ peças}$$

Substituindo a **equação (3.3)** em **(3.2)**, forma-se a **equação (3.4)**:

$$Pitch = T_{\text{SET}} + TC \cdot \text{LOTE} \quad (3.4)$$

Em seguida, utilizando os valores dados, encontram-se:

$$Pitch = 25 \text{ [min]} + 0,75 \text{ [min]} \cdot 200 \text{ [peças]}$$

$$Pitch = 213 \text{ min}$$

O TPROC também pode ser expresso como o produto da taxa de produção teórica pelo tamanho do lote. Esta alternativa de cálculo pode ser ilustrada por meio da **equação 3.5**:

$$T_{\text{PROC}} = \frac{\text{LOTE}}{TP} \quad (3.5)$$

Onde:

TP = Taxa de produção, expressa em peças por minuto

LOTE = tamanho do lote, expresso em peças

Para ilustrar esta alternativa, considera-se um exemplo teórico, conforme o exemplo abaixo:

Dados:

$$T_{\text{SET}} = 25 \text{ min}$$

$$TP = 1,33 \text{ peça/min}$$

$$\text{LOTE} = 200 \text{ peças}$$

Substituindo a equação (3.5) em (3.4), e utilizando os valores dados, encontra-se a equação 3.6:

$$Pitch = T_{SET} + \frac{LOTE}{TP} \quad (3.6)$$

$$Pitch = 25 \text{ [min]} + 200 \text{ [peça]} / 1,33 \text{ [peça/min]}$$

$$Pitch = 213 \text{ min}$$

Repetindo o cálculo para os outros produtos, considerando TP = 1,33 peça/min para os modelos de produtos, a determina-se a tabela 3.3:

Modelo	Demanda Mensal (peças)	Demanda relativa ao Modelo T	Ciclo	Lote mínimo (peças)	Taxa de Produção (peças/min)	Tempo Set up (min)	Pitch (min)
A	6.000	100%	1D	250	1,33	25	213
B	5.280	88%	1D	220	1,33	25	190
C	5.040	84%	1D	210	1,33	25	183
D	3.072	51%	2D	256	1,33	25	217
E	3.000	50%	2D	250	1,33	25	213
F	1.800	30%	2D	150	1,33	25	138
G	1.440	24%	4D	240	1,33	25	205
H	1.080	18%	4D	180	1,33	25	480
I	1.080	18%	4D	180	1,33	25	160
J	840	14%	4D	140	1,33	25	390

**Tabela 3. 3 – Planilha para cálculo do *Pitch* de produção para o plano nivelado de oito utilizando as taxas de produção e tempo de *Set up*. Fonte: elaborado pelo autor.**

Depois de calculado o *Pitch*, que corresponde ao tamanho da “janela de tempo” que será utilizada para concluir o plano nivelado, além de servir como entrada para o cálculo do número de *Kanban*, o qual será visto na figura 3.2. Para tal, vale ressaltar que existe uma restrição quanto à elaboração do plano nivelado. Em sistemas de fabricação, o tempo de processamento dos lotes dos modelos de produtos poderá variar, uma vez que nem sempre os produtos apresentarão características de manufaturabilidade idênticas. Nesse caso, o tempo disponível para produzir (TDP) limita a carga total diária do *mix* de produtos que pode ser planejada para um processo puxador em um dado fluxo de valor.

Por essa razão, o plano nivelado pode ser finalizado incluindo, para cada lote de produção, os respectivos *Pitch* de Produção. Esta alternativa facilita o controle da utilização da capacidade, ao incluir a referência expressa em quantidades produzidas pelo tempo correspondente para produzir tais quantidades.

Esta alternativa é justificada levando em conta dois tipos de fontes de desperdícios na utilização da capacidade: produzir lotes grandes gera ocupação dos recursos aumentando o tempo de espera de lote dos outros produtos; produzir lotes pequenos sem reduzir o tempo de preparação gera paralisação do sistema produtivo, reduzindo-se a capacidade de atendimento à demanda por modelos variados. Logo, esta opção de plano nivelado é indicada na **tabela 3.4**:

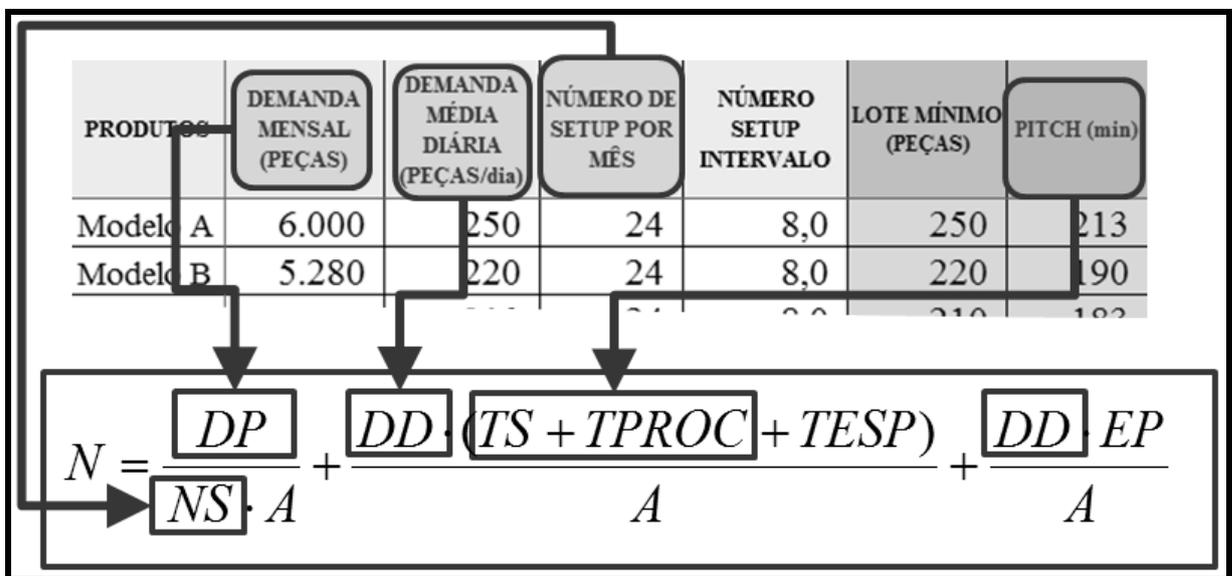
DESCRIÇÃO	1	Pitch (min)	2	Pitch (min)	3	Pitch (min)	4	Pitch (min)	5	Pitch (min)	6	Pitch (min)	7	Pitch (min)	8	Pitch (min)
Modelo A	250	213	250	213	250	213	250	213	250	213	250	213	250	213	250	213
Modelo B	220	190	220	190	220	190	220	190	220	190	220	190	220	190	220	190
Modelo C	210	183	210	183	210	183	210	183	210	183	210	183	210	183	210	183
Modelo D	256	217			256	217			256	217			256	217		
Modelo E			250	213			250	213			250	213			250	213
Modelo F	150	138			150	138			150	138			150	138		
Modelo G			240	205							240	205				
Modelo H							180	160							180	160
Modelo I	180	160							180	160						
Modelo J					140	130							140	130		
Outros	59	69	155	141	99	99	215	186	59	69	155	141	99	99	215	186
CAPAC-REQ DIÁRIA (min)		1.169		1.144		1.169		1.144		1.169		1.144		1.169		1.144
TEMPO DISP. TOTAL (min)		1.215		1.215		1.215		1.215		1.215		1.215		1.215		1.215
SALDO (min)		46		71		46		71		46		71		46		71
CAPAC-REQ DIÁRIA (h)		19,5		19,1		19,5		19,1		19,5		19,1		19,5		19,1
% UTILIZAÇÃO CAPACIDADE		96%		94%		96%		94%		96%		94%		96%		94%
SETUP DIÁRIOS		7		6		7		6		7		6		7		6

**Tabela 3. 4 – Exemplo de plano nivelado de oito dias expresso com *Pitch* de produção.**

**Fonte: adaptado de Liker & Meier (2007).**

A **tabela 3.4** apresenta os *Pitch* correspondentes aos lotes de produção indicados na **tabela 3.1**, que foram calculados a partir da **equação (3.6)**, considerando o  $T_{SET} = 25 \text{ min}$  e  $TC = 0,75 \text{ min}$  para todos os modelos de produtos. Vale ressaltar que estes valores são hipotéticos e foram definidos apenas com um propósito didático para facilitar a compreensão desta alternativa de plano nivelado. Ainda com base neste novo exemplo, verifica-se que, diariamente, há diferenças entre os tamanhos de lote, o que resulta em diferenças no *Pitch* de produção.

Assim mesmo, a distribuição do *mix* e do volume ao longo do intervalo é obtida de forma praticamente uniforme, com utilização da capacidade em torno de 96%, com pequena variação diária em relação à capacidade disponível de 1.215 minutos diários em três turnos de trabalho. Esta variação pode ser minimizada alocando pedidos de produção sob encomenda dos itens “outros”, de forma a maximizar a utilização da capacidade disponível. Outra vantagem desta planilha é a visualização do número máximo de *Set up* que podem ser realizados por dia, em função dos tamanhos de lotes e tempos de *Set up* e da quantidade de modelos de produtos. Por essa razão, esta planilha é útil para visualizar a capacidade produtiva para uma dada carga mensal, além de fornecer entradas para o cálculo do *Kanban*, conforme representado na **figura 3.2**:



**Figura 3.2 – Relação entre o plano nivelado e o cálculo do *Kanban***

Ainda de acordo com a figura, as informações que devem ser adicionadas são: o tempo de espera e a política de estoque de proteção, bem como o tamanho da embalagem padrão.

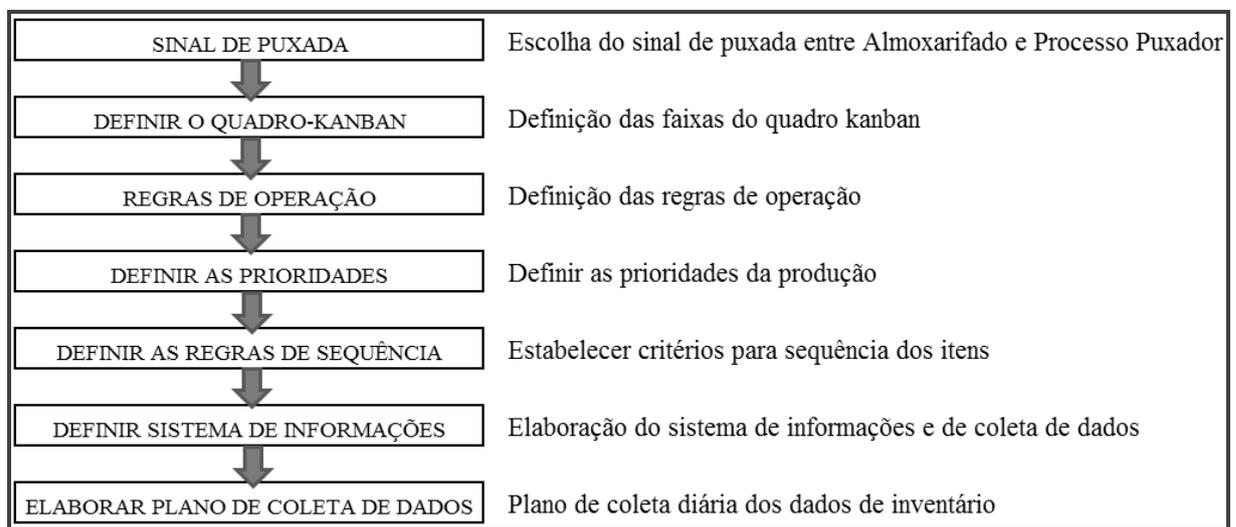
- **Cálculo do tempo *Takt*, *Pitch* de Produção e o incremento *Pitch***

Conforme explicado no capítulo 2, o tempo *Takt* é uma métrica adequada para a mensuração do ritmo de trabalho em sistemas de manufatura com operações de montagem. Por outro lado, para sistemas com operações de fabricação, a métrica mais adequada é o *Pitch* de Produção, cuja aplicabilidade também está explicada no capítulo 2. Este conceito permite estabelecer uma frequência de controle da produção em intervalos regulares, e deve estar vinculado às a-

tividades de controle da produção. Partindo desse princípio, considera-se a utilização do quadro de controle da produção, conforme explicado no capítulo 2.

- **Dimensionamento dos estoques dos produtos acabados**

Esta etapa equivale ao plano detalhado dos materiais em todo o fluxo de valor. No contexto da Manufatura Enxuta, os estoques são dimensionados por meio do Sistema *Kanban* e correspondem aos supermercados de produtos finais acabados, estoques em processo e matérias-primas. Por essa razão, esta atividade é de grande importância para o estabelecimento da “produção puxada” propriamente dita. As informações necessárias estão dispostas segundo o fluxo ilustrado na **figura 3.3**:



**Figura 3.3 – Fluxo de informações de definição do sistema *Kanban***

Para a produção para estoque, a primeira decisão consiste em determinar o tipo de sinal de puxada disparado a partir da retirada dos produtos acabados do almoxarifado para a entrega ao cliente. Esse sinal é representado pelo Sistema *Kanban*, que é composto por cinco decisões fundamentais: o tipo de Sistema *Kanban*, o meio de transmissão, método de cálculo e a frequência do fluxo de informações dos cartões e o tipo de retirada.

Dentre os tipos de Sistema *Kanban* existentes, destacam-se o *Kanban* de sinalização, de dois cartões, *Kanban* eletrônico e tantos outros. Esta abordagem deve ser mais adequada às características dos processos produtivos e das cadeias produtivas. O meio de transmissão das in-

formações, por sua vez, pode ser físico, para o caso dos cartões convencionais; ou virtual, no caso de transmissão eletrônica.

O método de cálculo deve incluir a equação e os parâmetros correspondentes às três faixas, conforme modelo preconizado no capítulo 2. Porém, a seleção das equações deve ficar a cargo do responsável pela função de PCP da empresa, dentre as diversas abordagens encontradas na literatura. Para definir as faixas do quadro *Kanban*, ressalta-se que o Sistema *Kanban* é vinculado ao modelo de gestão de estoques Ponto de Ressuprimento, conforme explanado no capítulo 2. Com base nesse pressuposto, as faixas do quadro-*Kanban* são determinadas utilizando a **equação (2.1)**:

$$N = \frac{DP}{NS \cdot A} + \frac{DD \cdot LT}{A} + \frac{DD \cdot EP}{A} \quad (2.1)$$

Calculando para o modelo A, substituindo os valores da **tabela 3.4**, para  $A = 1$ , encontrou-se:

$$N = \frac{6.000}{24} + \frac{250 \cdot (213 + 240)}{1.350} + \frac{250 \cdot 2}{1}$$

$$N = 834 \text{ Kanban}$$

Os valores das faixas são dados pelas **equações 2.3, 2.4 e 2.5**:

$$\text{Faixa Verde} = \text{Lote} = 250 \text{ Kanban}$$

$$\text{Faixa Amarela} = \text{Lead Time} = 84 \text{ Kanban}$$

$$\text{Faixa Vermelha} = \text{Proteção} = 500 \text{ Kanban}$$

Calculando para os demais modelos de produtos, também com base nos dados da **tabela 3.2**, determina-se o plano de materiais para o processo puxador, conforme **tabela 3.5**:

PRODUTOS	PARÂMETROS DE CÁLCULO								VALORES DAS FAIXAS		
	DEMANDA MENSAL (peças)	DEMANDA MÉDIA DIÁRIA (peças/dia)	NÚMERO DE SETUP POR MÊS	LOTE MÍNIMO (peças)	PITCH (min)	TEMPO DE ESPERA (min)	LEAD TIME (dias)	PROTEÇÃO (dias)	LOTE	LEAD TIME	PROTEÇÃO
Modelo A	6.000	250	24	250	213	240	0,335	2	250	84	500
Modelo B	5.280	220	24	220	190	240	0,319	2	220	70	440
Modelo C	5.040	210	24	210	183	240	0,313	2	210	66	420
Modelo D	3.072	128	12	256	217	240	0,339	2	256	43	256
Modelo E	3.000	125	12	250	213	240	0,335	2	250	42	250
Modelo F	1.800	75	12	150	138	240	0,280	2	150	21	150
Modelo G	1.440	60	6	240	205	240	0,330	2	240	20	120
Modelo H	1.080	45	6	180	480	240	0,533	2	180	24	90
Modelo I	1.080	45	6	180	160	240	0,296	2	180	13	90
Modelo J	840	35	6	140	390	240	0,467	2	140	16	70

**Tabela 3. 5 – Planilha para cálculo do *Kanban* com tempo de espera de 240 min e *lead time* expresso em dias. Fonte: elaborado pelo autor.**

O sistema *Kanban* deve ter uma frequência de transmissão ou coleta preestabelecida de forma a permitir o dimensionamento de sistemas de abastecimento dos materiais. Em geral, adota-se o incremento *Pitch* como referência para a frequência de coleta. Por exemplo, cartões físicos podem ser coletados em intervalos regulares de uma ou duas horas, ficando a critério do responsável pelo PCP da empresa definir outra frequência mais conveniente. Se o *Kanban* for eletrônico, é preciso definir o intervalo de coleta dos dados, de forma a regularizar o fluxo de informações.

Finalmente, o tipo de retirada, pode ser a “retirada compassada” ou a “retirada em lotes”, conforme explicado no capítulo 2.

As regras de operação do sistema *Kanban* são estabelecidas de modo a garantir que as funções básicas do *Kanban* sejam obedecidas. Por esta razão, cabe ao Gerente de Operações definir os papéis e responsabilidades dos operadores, bem como treinar e educar os funcionários envolvidos nas atividades de apoio para eliminar dúvidas que possam surgir. Tais regras devem abarcar duas decisões: as prioridades e os critérios de seqüenciamento diário dos produtos.

As prioridades da produção referem-se ao grau de urgência da reposição de modelos de produtos em relação aos demais produtos compartilhados no mesmo fluxo de valor. Tais regras, no que tange ao Sistema *Kanban*, são utilizadas quando dois ou mais itens estiverem sendo

consumidos, gerando um sinal de reposição com prioridade média (região amarela) ou alta (região vermelha).

Como regra básica, os itens que estiverem na região vermelha têm prioridade sobre os da região amarela. Porém, os responsáveis pela operação do fluxo de produção da empresa devem decidir o que fazer quando mais de dois itens estiverem, por exemplo, na região vermelha, e não houver capacidade disponível para a produção imediata dos mesmos.

Em seguida, após estabelecer as regras de prioridade, a equipe deve assegurar que os operadores conheçam as regras de seqüenciamento do *mix* diário, de modo a reduzir o tempo perdido com preparações com vistas a maximizar a utilização da capacidade disponível em relação ao plano nivelado.

Finalmente, para os casos de utilização de *Kanban* eletrônico, é necessário estabelecer o sistema de informações (equipamentos e lógica de funcionamento) bem como o plano de coleta de dados. Por exemplo, podem ser utilizados sistemas de códigos de barras que disparam a reposição com base nas retiradas dos produtos finais acabados diretamente do almoxarifado, sem a necessidade de transmissão física de cartões deste ao processo puxador.

Por essa razão, o sistema de coleta de dados é realizado em tempo real fazendo uso dos leitores de códigos de barras e registros de estoque, à medida que novos pedidos são separados e enviados à área de Expedição de produtos. No entanto, outras soluções específicas podem ser geradas para cada fluxo de valor em particular.

### **3.1.2. Planejamento de Curto Prazo**

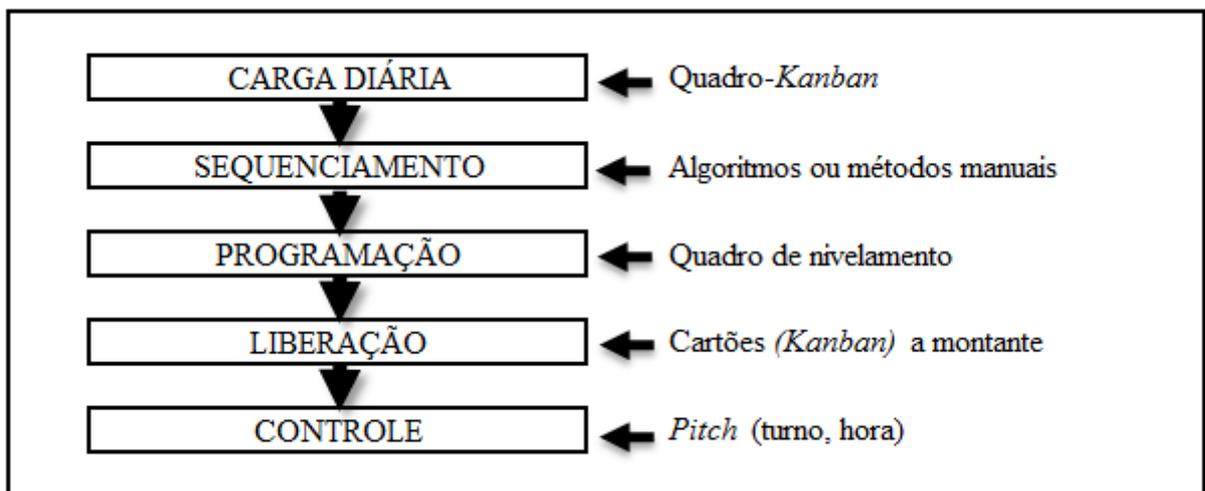
- **Definição da carga diária em sistemas de fabricação**

Esta atividade representa o início da operacionalização da Produção Nivelada, e está vinculada ao tipo de sistema considerado no fluxo de valor. Como regra geral, para sistemas de manufatura com a estratégia de produzir para estoque (*make-to-stock*), vale o princípio do supermercado. Em outras palavras, a retirada dos produtos para a expedição diária irá autorizar a reposição dos respectivos produtos, na mesma quantidade e no momento necessário.

O fluxo de informações parte dos pedidos dos clientes e chega ao departamento de PCP da empresa, que irá autorizar o entrega diária dos produtos finais acabados (*Finished Good Inventory*, FGI). Quando estes são retirados do almoxarifado (supermercado), os *Kanban* que haviam sido anexados às respectivas embalagens serão destacados e, em seguida, serão colocados na caixa de nivelamento da produção (*Heijunka Box*). A partir de então, a produção diária no processo puxador será automaticamente autorizada. Logo, a carga diária é transmitida ao chão-de-fábrica pelo Sistema *Kanban*, que está vinculado ao estoque de produtos acabados no fluxo de valor. Esta denota as características de simplicidade e de baixo custo que representam os métodos de programação da produção no contexto da Manufatura Enxuta.

- **As cinco atividades de controle da produção em operações de fabricação**

Para sistemas com operações de fabricação, com produção para estoque (*make-to-stock*), o Sistema *Kanban* de Etiquetas é substituído pelo quadro-*Kanban* convencional, conforme representado na **figura 3.4**:



**Figura 3.4 – Fluxo de informações de programação diária em operações de fabricação.**  
 Fonte: elaborado pelo autor.

Este fluxo é descrito em cinco passos, a saber:

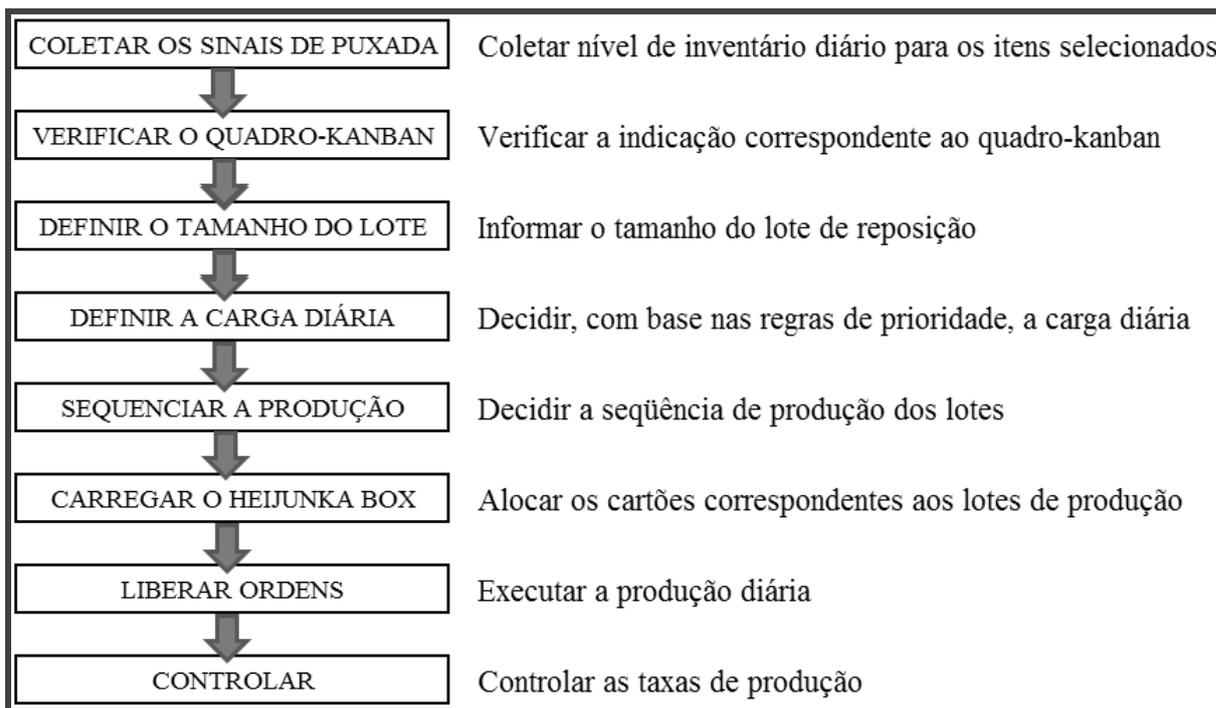
- 1) O departamento de vendas da empresa emite a confirmação dos pedidos diários. Estes são transmitidos ao departamento de Expedição dos produtos finais aos clientes;
- 2) A retirada dos produtos finais do almoxarifado de produtos finais irá liberar os cartões *Kanban* afixados nas respectivas embalagens. Estes cartões serão encaminhados ao quadro-*Kanban* existente no processo puxador. De acordo com o número de cartões

previamente calculado, cada modelo apresentará um determinado nível de estoque indicado por uma das três faixas do quadro-*Kanban* (verde, amarela e vermelha). Apenas os modelos de produtos que estiverem com estoques equivalentes às faixas amarela e vermelha, serão submetidos à reposição no processo puxador;

- 3) Os cartões dos modelos de produtos são retirados do quadro-*Kanban* e afixados na caixa de nivelamento, gerando uma sequência baseada em critérios específicos. Por exemplo, é possível estabelecer uma sequência que resulta em maior utilização da capacidade disponível, agrupando os modelos similares e reduzindo o tempo total de *Set up*. Com base na sequência e no *Pitch* de Produção teórico para cada modelo, a programação é feita automaticamente, determinando o momento exato a partir do qual os lotes dos modelos de produtos serão fabricados no processo puxador;
- 4) No processo puxador, o operador retira os cartões da caixa de nivelamento ao concluir a fabricação do respectivo lote, anotando os desvios causados por problemas no sistema de produção. Esta atividade também representa o “sinal de puxada” para a reposição das peças consumidas no processo puxador;
- 5) A verificação das metas de produção também é realizada em intervalos regulares de tempo, utilizando o conceito de incremento *Pitch*, ao invés de contabilizar a produção realizada ao final do turno de trabalho.

- **Regras de operação da Produção Nivelada**

O fluxo de informações inicia-se com o sinal de puxada até a disponibilização do material ao almoxarifado. Em outras palavras, a partir da coleta das informações do inventário (registros de estoque). A sequência básica de informações é ilustrada na **figura 3.5**:



**Figura 3.5 – Fluxo de informações de programação e controle da produção. (Produção Nivelada). Fonte: elaborado pelo autor.**

O fluxo indicado na **figura 3.5** irá depender do meio de transmissão do Sistema *Kanban*. Se a transmissão for física, por meio dos cartões anexados às embalagens dos produtos finais acabados, então os cartões que chegam do almoxarifado até o processo puxador serão alocados no quadro-*Kanban* para a gestão visual dos estoques e da produção.

Nos casos em que o *Kanban* eletrônico seja utilizado, os dados de inventário poderão ser acessados em tempo real a partir de um terminal de micro-computador disponível no departamento de produção do fluxo de valor. Outra solução consiste na impressão dos cartões *Kanban* automaticamente, no instante em que haja consumo de estoque abaixo das regiões amarela, indicando o ponto de ressurgimento, ou na região vermelha, denotando consumo do estoque de proteção do processo puxador. Ressalta-se que o Quadro *Kanban* poderá ser virtual, quando houver *Kanban* eletrônico, ou físico, para cartões físicos.

No que tange ao tamanho do lote, como regra normal, este deve ser fixo para os itens disparados na região amarela. Porém, caberá ao responsável pela programação diária decidir, em situações de emergência, se um determinado modelo de produto poderá ser produzido em quantidades maiores que a padrão, a fim de repor o estoque de proteção ou para atender pedidos especiais de volume maior.

Nesses casos, a carga diária será definida a partir dos modelos que apresentem cartões nas regiões amarela e vermelha, devendo ser limitada à capacidade disponível existente. A partir das regras de prioridade, o Coordenador de Produção – ou outra pessoa responsável pela programação diária – ficará encarregado pela decisão acerca da necessidade de fazer horas extras para atender a carga diária demandada. Esta representa o princípio da autonomia do chão-de-fábrica que descentraliza parte das decisões de produção.

Em seguida, o responsável pela produção deve decidir a melhor sequência de produção dos itens, com vistas a maximizar a utilização da capacidade disponível. Geralmente, processos que operam com pintura, utilizam uma sequência que vai desde a cor mais clara à mais escura. Analogamente, em processos que dependem da temperatura, a sequência varia da temperatura menor à maior. Estas decisões podem ser baseadas em regras simples e executadas de forma manual, ou podem ser mais complexas, sendo executadas por meio de *softwares* baseados em algoritmos ou heurísticas.

Depois de definida a carga diária, os cartões devem ser alocados na caixa de nivelamento (*Heijunka Box*) para programar a produção. Isto ocorre pelo fato do tamanho de lote ser fixo, assim, por meio da gestão visual, é possível saber com antecedência, o horário exato no qual os modelos de produtos serão produzidos. Em seguida, os operadores devem executar a produção diária com base na carga, nas prioridades, na sequência definidas, removendo os *Kanban* da caixa de nivelamento após a conclusão da fabricação do lote preestabelecido.

Finalmente, o responsável pela produção deverá controlar as taxas de produção, de modo a garantir que a carga diária seja produzida integralmente. Caso haja interrupções na produção, os desvios devem ser anotados e uma análise de causa-raiz deverá ser imediatamente conduzida para que os problemas sejam definitivamente eliminados.

Para isto, o controle da produção poderá ser uma ferramenta bastante útil que complementa a gestão visual no chão-de-fábrica. Em suma, fluxo de informações apresentado e detalhado nesta atividade integra as cinco atividades de controle da produção: Carregamento, Sequenciamento, Programação, Liberação e Controle, apresentados previamente no capítulo 2.

### 3.2. PASSOS PARA A IMPLANTAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Com base nos elementos teóricos referentes ao planejamento e o cálculo da Produção Nivelada, esta seção apresenta os passos necessários para a implantação do método proposto. Neste caso, utilizou-se, como base para a sequência das atividades, o método de Smalley (2004), adaptado com base na análise crítica, orientado segundo o ciclo PDCA básico, com atividades de Planejamento, Execução, Verificação e Conclusão. Para uma visão geral dos passos para a implantação do método proposto, as informações foram tabuladas, segundo o ciclo PDCA, e estão resumidas no **quadro 3.2**:

**Quadro 3. 2 – Passos para a implantação do método proposto.**

<b>PDCA</b>	<b>ETAPA</b>	<b>ATIVIDADES</b>
<b>P</b>	Planejamento para o estado futuro (cap. 4)	a) Selecionar os produtos e priorizar os itens A e B b) Elaboração do planejamento da Produção Nivelada i. Definir a carga mensal planejada ii. Definir a política de estoque de proteção iii. Elaborar o plano nivelado iv. Definir o Sistema <i>Kanban</i> v. Definir as regras de operação da Produção Nivelada
<b>D</b>	Execução do plano (cap. 4)	a) Treinamento b) Execução do projeto piloto i. Teste conceitual ii. Implantação piloto c) Melhoria contínua
<b>C</b>	Verificação (cap. 5)	a) Indicadores de desempenho b) Atendimento aos princípios e políticas da Produção Nivelada c) Comparação ao método de Smalley
<b>A</b>	Conclusão (cap. 6)	Conclusões e recomendações

Fonte: elaborado pelo autor

A partir do quadro 3.2, o Planejamento refere-se às atividades iniciais de seleção dos produtos e elaboração do planejamento da Produção Nivelada. A execução se refere ao seminário de treinamento, o teste conceitual, a implantação e a listagem das melhorias do sistema. Na Verificação, os resultados da implantação do método são analisados por meio de três abordagens: primeiramente, os indicadores de desempenho (vide **Apêndice B**) foram coletados antes e depois do método.

Em seguida, procede-se uma avaliação dos resultados do método quanto ao atendimento aos princípios e políticas da Produção Nivelada, e, por último, o método proposto será comparado ao método de Smalley, levando em conta que este serviu de base para a pesquisa apresentada nesta dissertação.

Por último, as conclusões referem-se às considerações finais quanto à validação do método, baseado nos critérios de avaliação considerados.

### *3.3. COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO 3*

Este capítulo apresentou o método proposto, por meio da análise crítica dos elementos encontrados na literatura referentes a Manufatura Enxuta e se iniciou pela análise dos elementos que compõem a Produção Nivelada, utilizando o modelo geral de PCP como referência. Por isso, as decisões de planejamento da produção, de médio e de curto prazo foram analisadas, sendo que as decisões referentes à gestão dos fornecedores e ao planejamento da capacidade não foram consideradas na análise.

Em seguida, foi apresentado um método alternativo para planejamento e cálculo do plano nivelado, considerando o *Pitch* de produção (capacidade requerida), ao invés da carga (demanda) do intervalo. Isto foi motivado pelo fato de haver lacunas tanto no método proposto por Liker & Meier (2007) como no método de planejamento, cálculo e implantação da Produção Nivelada proposto por Smalley (2004). Assim, espera-se que o método proposto seja mais abrangente, podendo ser aplicado em sistemas de fabricação nos quais as taxas de produção podem variar entre os diversos modelos de produtos e a produção ocorre em lotes.

Na sequência, foram apresentadas as regras de operação do sistema *Kanban* e da produção nivelada, como forma de padronizar os fluxos de informações. Confirmou-se, inclusive, que o plano nivelado fornece as entradas para o cálculo do *Kanban*. Em seguida, foi explanado que

o tempo *Takt* é mais adequado para as operações de montagem, ditando o ritmo da célula ou linha. Assim, para sistemas de fabricação, o conceito de incremento *Pitch* é mais indicado para o controle efetivo da produção diária.

Por último, este capítulo encerra o objetivo específico referente a apresentação do método proposto, bem como a definição das atividades necessárias ao planejamento, cálculo e implantação da Produção Nivelada. Logo, levando em conta que os conceitos utilizados eram direcionados às aplicações de linhas de montagem, o método proposto representa uma contribuição importante à literatura, uma vez que os conceitos foram adaptados aos sistemas de fabricação com produção em lotes.

Logo, uma vez que não foram encontrados registros na literatura sobre casos de aplicação da Produção Nivelada, este trabalho apresentará, no capítulo 4, o estudo de caso em uma empresa de bens de consumo com operações de fabricação com produção em lotes. Será apresentado tanto o estado original, no qual a empresa foi encontrada, quanto o estado futuro, após a aplicação do método proposto. O objetivo do próximo capítulo é validar o método proposto em um ambiente de manufatura em condições reais de operação.

## CAPÍTULO 4

### 4. PESQUISA DE CAMPO PARA VALIDAÇÃO DO MÉTODO

Este capítulo apresenta a elaboração e a realização da pesquisa de campo adotada como instrumento de validação do método proposto. Com base neste objetivo, a referida pesquisa foi realizada em uma empresa localizada no interior do estado de São Paulo, fabricante de bens de consumo, cujas características enquadraram-se no problema de pesquisa, conforme explicado no capítulo 1. Em linhas gerais, a pesquisa foi estruturada em três etapas:

1. Revisão bibliográfica, a partir de fontes de pesquisa de periódicos, tais como *Scirus*, *Science Direct*, *Emerald Insight*, entre outros. Complementando estas fontes, foram consultados: o serviço de comutação de dados (COMUT), livros, dissertações, teses e artigos de eventos científicos, sendo que 50% das referências utilizadas foram publicadas nos últimos cinco anos;
2. Elaboração do método de planejamento, cálculo e implantação da Produção Nivelada, com base na revisão e na análise crítica dos elementos teóricos consultados, conforme será descrito no capítulo 3;
3. Estudo de caso para a validação do método, apresentado neste capítulo.

#### 4.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Com o intuito de garantir a validade e a generalidade do método proposto, realizou-se a classificação da pesquisa de acordo com os critérios de metodologia científica, a saber:

- **Quanto à Natureza:** Pesquisa Aplicada: visa gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses particulares. Logo, esta dissertação deu origem a um método de planejamento, cálculo e implantação da Produção Nivelada.
- **Quanto à Forma de Abordagem do Problema:** Pesquisa qualitativa, pois não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas (SILVA & MENEZES, 2005).

- **Quanto aos Objetivos:** Pesquisa Exploratória: visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico e a análise de uma aplicação industrial.
- **Quanto aos Procedimentos Técnicos:** estudo de caso, uma vez que envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento (GIL, 1991).

O **método de procedimento** utilizado nesta dissertação foi o experimento de campo, no qual o método de implantação da Produção Nivelada foi aplicado em uma empresa de manufatura em condições reais de operação, sem interferências externas ou internas. A **coleta de dados** para esta dissertação foi realizada utilizando três **instrumentos**:

1. Observação individual e sistemática, realizada pelo pesquisador segundo um roteiro preestabelecido, iniciando pelo chão-de-fábrica e o supermercado de produtos acabados, e as áreas administrativas, tais como o departamento de PCP e as áreas de circulação externa dos materiais produzidos no fluxo de valor.
2. Entrevista individual não estruturada, conduzida para dirimir as dúvidas a respeito da documentação consultada. As entrevistas abrangeram o gerente de Operações, o analista de PCP, os coordenadores da Produção, os gerentes de Manufatura, e supervisores da Produção.
3. Análise de documentos: Procedimentos de PCP, Dados históricos do estoque e da demanda, Relatórios da Produção, apresentações corporativas sobre os projetos, entre outros. Os seguintes relatórios emitidos na empresa pesquisada foram utilizados como fonte de dados:
  - Relatórios de balanço financeiro mensal contendo os indicadores de desempenho corporativos (Estoque Médio e Nível de Serviço),
  - Relatórios de indicadores de desempenho gerados a partir da necessidade do projeto, entre eles a Capacidade de Produção por modelo (taxas de produção), o histórico da demanda em uma base semanal e mensal,

- Os indicadores foram coletados e tabulados para posterior análise (vide **Apêndice B**): a Rapidez (Estoque, expresso em dias), a Flexibilidade de *mix* (número de preparações por mês), Confiabilidade (Nível de Serviço, expresso em percentual),
- Registro de dados históricos coletados diariamente, tais como o Estoque Disponível (“*on hand*”) no final do dia, bem como os demais indicadores selecionados para o projeto e explicados anteriormente.

#### 4.2. ESTRUTURA DA PESQUISA

A estrutura metodológica da pesquisa de campo foi elaborada tendo como base os oito passos para a construção de teorias (EISENHARDT, 1989):

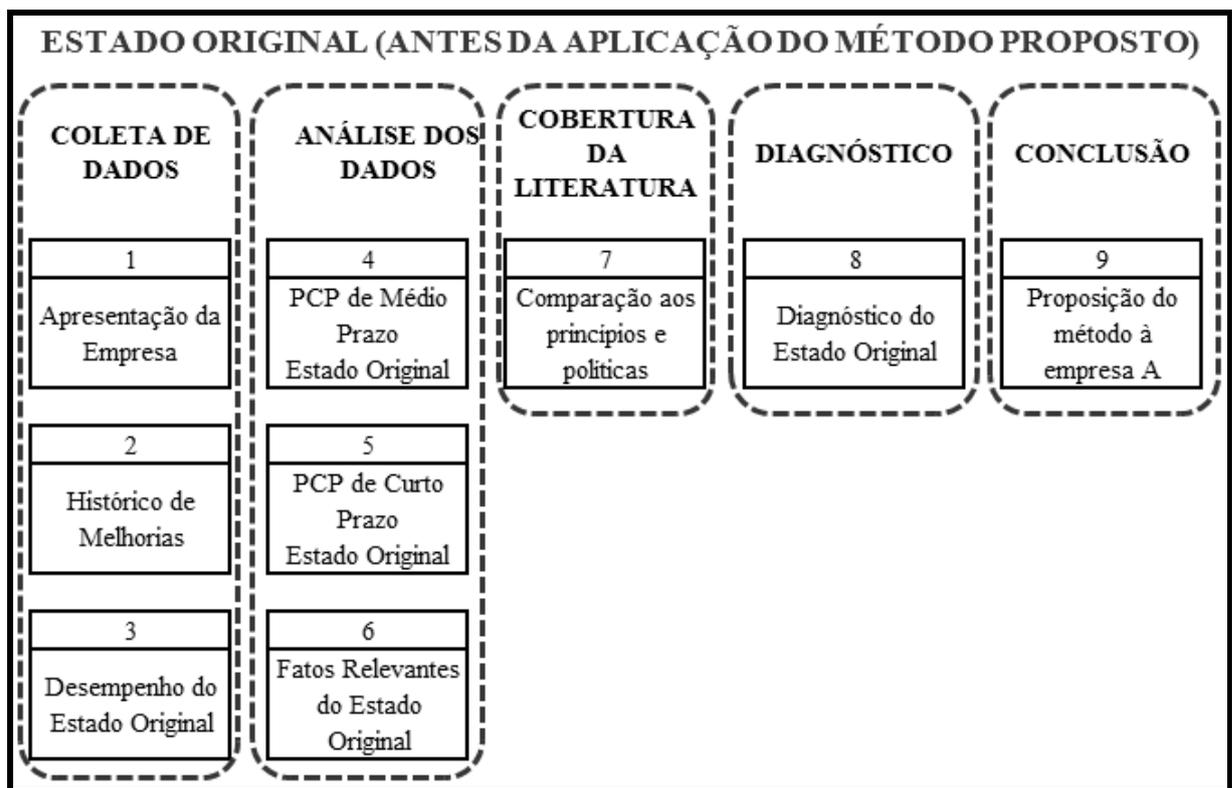
- 1. Iniciando:** definição da questão da pesquisa, relacionada à aplicação da Produção Nivelada em sistemas de fabricação com produção em lotes, conforme exposto no capítulo 1;
- 2. Selecionar os casos:** escolha do(s) caso(s), buscando encontrar referências que contribuam para os objetivos da pesquisa;
- 3. Instrumentos e protocolos:** definição dos métodos de coleta de dados;
- 4. Pesquisa de campo:** coleta de dados da empresa pesquisada;
- 5. Análise dos dados:** análise de dados das práticas da empresa pesquisada com o intuito de encontrar similaridades ou diferenças em relação à teoria estudada;
- 6. Diagnóstico:** optou-se por estabelecer o diagnóstico para se determinar as causas do desempenho, tanto antes quanto após a aplicação do método.
- 7. Cobertura da literatura:** comparação com a literatura existente;
- 8. Conclusão:** final do processo com a construção da teoria, quando possível.

Após o delineamento da estrutura metodológica, o estudo de caso é apresentado na próxima seção.

### 4.3. ESTUDO DE CASO PARA VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Com o intuito de preservar a confidencialidade das informações gerenciais da empresa pesquisada, os nomes dos processos e dos seus respectivos produtos foram alterados no presente trabalho. Além disso, a empresa pesquisada é denominada “Empresa A”.

Para a realização deste trabalho, o autor visitou a referida empresa no período de dezembro de 2007 a Junho de 2008 para coleta de informações e documentos, bem como para entrevistar os funcionários da referida empresa. O roteiro de apresentação do estudo de caso foi desdobrado em 17 etapas, sendo que a primeira parte, referente ao estado no qual o sistema de produção da empresa foi encontrado, isto é, antes da aplicação do método proposto, contempla as nove primeiras etapas. Estas estão representadas graficamente na **figura 4.1**:



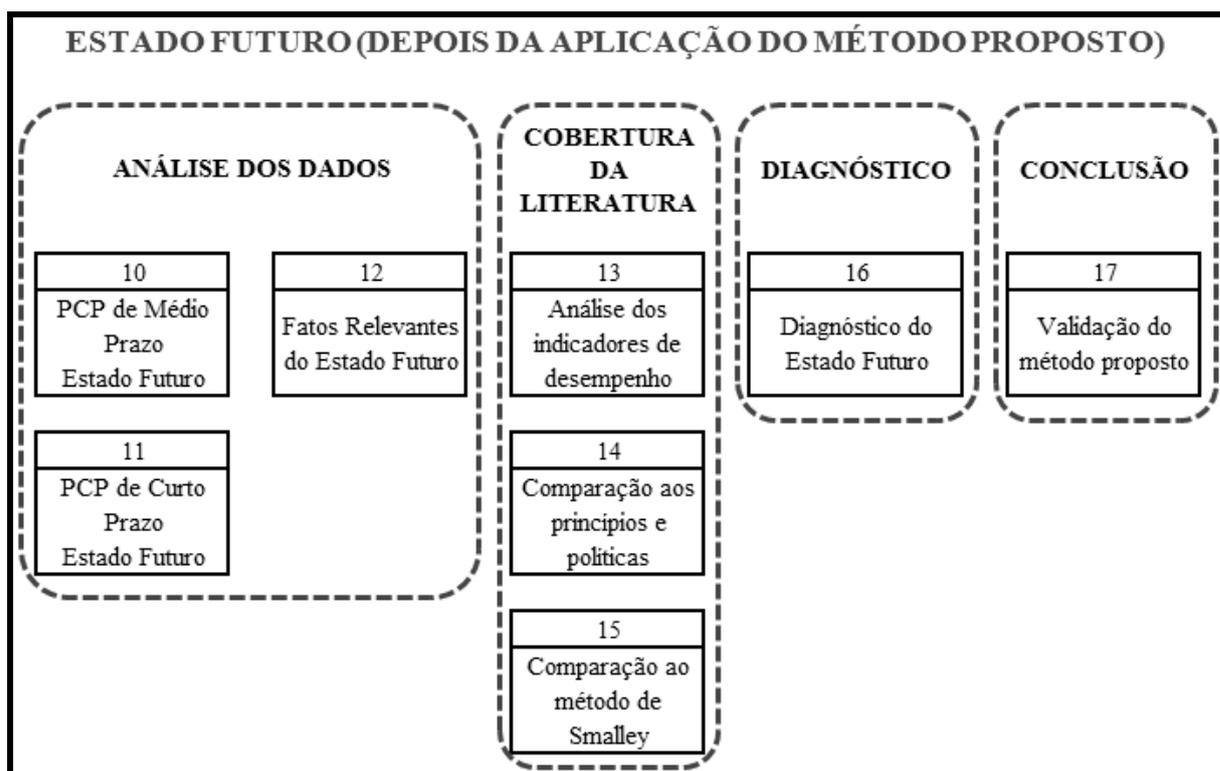
**Figura 4. 1– Sequência de atividades para a primeira parte da pesquisa de campo, adaptada da metodologia de pesquisa de Eisenhardt (1989). Elaborado pelo autor.**

Inicialmente, optou-se por apresentar uma breve descrição da empresa (1) e do seu histórico de mudanças (2) ocorridas nas práticas de PCP, culminando em um nível de desempenho definido como o “estado original” (3), anterior ao método. A análise das práticas da empresa

pesquisada foi estruturada em três partes: primeira, os métodos de PCP da empresa serão descritos nos horizontes de médio (4) e de curto prazo (5). Em seguida, os fatos relevantes (6) serão destacados no decorrer do texto, e serão analisados no que tange aos princípios dos processos enxutos e as suas respectivas políticas (7), oriundas do Nivelamento da Produção e do Sistema *Kanban*.

Finalmente, foi feito um diagnóstico (8) para avaliar se o método original de PCP utilizado na empresa estudada atendia a estes princípios enxutos. Mediante os resultados da análise do caso no estado original, foram apresentadas as recomendações para a empresa bem como a apresentação e proposição do método (9).

Na segunda parte do estudo de caso, representada pelo “estado futuro”, as etapas da metodologia proposta por Eisenhardt (1989) foram desdobradas em oito etapas, que estão graficamente ilustradas com base na figura 4.2:



**Figura 4. 2 – Sequência de atividades para a segunda parte da pesquisa de campo, adaptada da metodologia de pesquisa de Eisenhardt (1989). Elaborado pelo autor.**

Nesta parte da pesquisa, estão apresentados os resultados da aplicação prática do método proposto, incluindo o planejamento e cálculo, bem como a implantação nos níveis de médio e

curto prazo (etapas 10 e 11). Em seguida, no capítulo 5, os resultados foram analisados de três formas: por meio dos indicadores de desempenho (13); comparando os fatos relevantes do estado futuro (12) às práticas e melhorias propostas aos princípios e políticas da Produção Nivelada (14); comparando o método proposto ao método de Smalley (15), destacando as principais diferenças entre os dois métodos. Após as análises, apresentou-se o diagnóstico do método proposto (16), conforme explicado no capítulo 4.

Finalmente, buscou-se a validação do método proposto (17), bem como a apresentação das conclusões no capítulo 6.

#### *4.4. ESTUDO DE CASO DO ESTADO ORIGINAL*

##### **4.4.1. Apresentação da “empresa A”**

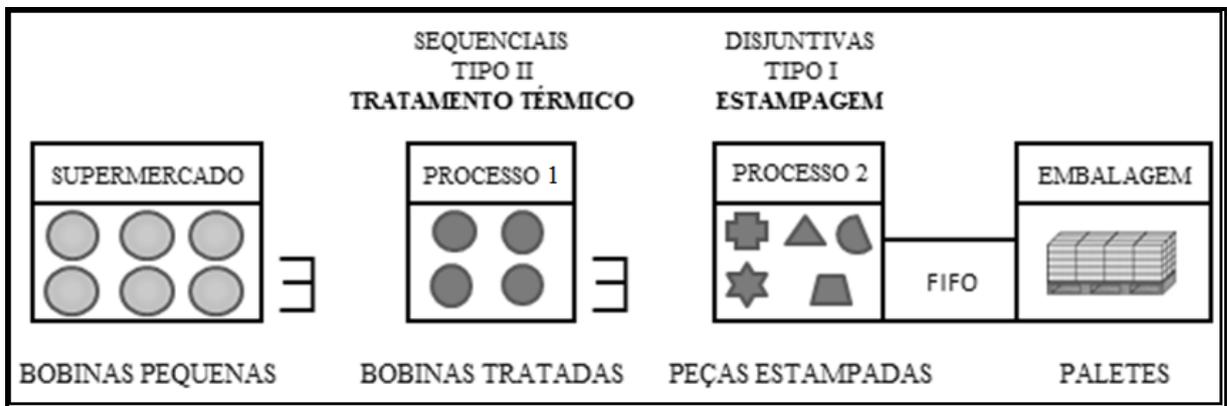
A empresa A é uma multinacional que atua no segmento de manufatura de bens de consumo industriais há mais de 40 anos no Brasil, onde possui fábricas em três estados brasileiros. O sistema de produção desta empresa fornece uma gama de produtos para diferentes aplicações industriais, cujos fluxos de valor são caracterizados, em sua totalidade, por operações de fabricação.

##### **4.4.2. Características dos produtos e do processo puxador**

Em virtude da necessidade de confidencialidade das informações tecnológicas da empresa A, os processos que compõem o fluxo de valor sob análise foram alterados por operações de tratamento térmico e estampagem de peças.

O fluxo de valor estudado está orientado segundo o conceito de subfábricas, resultado da implantação das técnicas de gestão da produção da Manufatura Enxuta, que preconizam a manufatura em arranjo físico orientado ao fluxo dos materiais. Adicionalmente, o último processo de fabricação é composto por duas máquinas idênticas que executam apenas uma operação de estampagem. Em seguida, uma máquina de empacotamento automática, com dois estágios. O primeiro realiza a unitização das peças em embalagens de 200 peças cada, e o segundo realiza a unitização de cerca de 250 embalagens em um único palete.

O esquema do fluxo de valor, com seus respectivos tipos de operações de processamento, estão indicados na **figura 4.3**:



**Figura 4. 3 - Fluxo de valor estudado, produtos, processos e as respectivas operações de processamento. Fonte: dados da empresa A.**

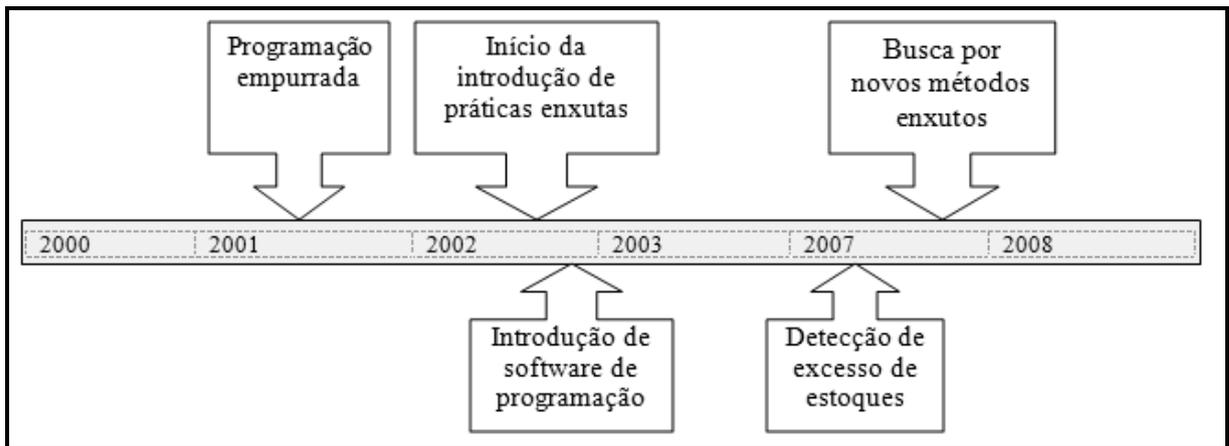
As duas máquinas do processo puxador operam em três turnos, seis dias na semana, com três intervalos para a troca de turno com duração de 10 min e três paradas para refeições de 1 hora por dia. Uma vez que a disponibilidade das máquinas é em torno de 99%, considera-se que o tempo disponível para produzir (TDP) corresponde a, aproximadamente, 20,25 horas produtivas, de segunda a sexta, e 15 horas aos sábados. Assim, ambas podem produzir quaisquer modelos de produto, cabendo esta decisão ao Supervisor da Produção, responsável pela programação diária. O fluxo de valor estudado é dedicado às famílias de produtos, característica que elevou a pontuação de elegibilidade do mesmo na fase inicial de planejamento.

A capacidade, isto é, as taxas de produção dos equipamentos estão relacionadas ao modelo de produto em particular, por essa razão, em torno de 500 peças por minuto. Esta métrica será vista com detalhes na elaboração do plano nivelado.

Os materiais produzidos no processo puxador passam por dois estágios de empacotamento. Inicialmente, são embalados em caixas padronizadas de duzentas peças, Para, em seguida, serem unitizados em paletes contendo entre 10.000 e 42.000 peças. Estes representam os lotes de transferência entre o processo puxador e o supermercado da distribuição.

#### 4.4.3. História da empresa A

A partir de 2001, a Empresa A passou por mudanças no sistema de gestão da produção, impulsionadas pela necessidade de reagir à presença de novos concorrentes no mercado brasileiro. Tais estágios serão abordados do ponto de vista do planejamento e controle da produção. Logo, a sequência de eventos de melhoria ocorridos na empresa A pode ser mais bem representada com base na linha de tempo ilustrada de acordo com a **figura 4.4**:



**Figura 4. 4 – Linha de tempo com o histórico de mudanças no sistema de gestão da produção da empresa A. Fonte: elaborado pelo autor.**

Com base na **figura 4.3**, algumas mudanças nas práticas de PCP foram destacadas e explicadas na seção seguinte.

Partindo das informações coletadas dos relatórios corporativos e entrevistas com o Gerente de Operações, evidenciou-se que, até o início de 2001, a gestão do sistema de produção da Empresa A era caracterizado como uma programação empurrada. Logo, o desempenho das práticas de PCP da empresa naquela época era satisfatório para o planejamento de longo e médio prazo, porém, desempenho operacional estava aquém do desejado como meio de programação da produção. Com base nas informações coletadas na pesquisa de campo, o sistema de PCP da empresa A apresentava as seguintes características:

- Fluxos de valor com grande variedade de modelos de produtos, havendo fluxos com mais de 1.000 variações.
- O Nível de Serviço para a maioria dos produtos fabricados para estoque estava abaixo de 60%. Este patamar estava aquém da meta corporativa naquele período.

- A programação da produção era independente nos estágios produtivos. No processo puxador, era realizada em seqüência fixa, logo apresentava flexibilidade baixa, elevando o tempo de resposta perante os picos de demanda,
- Ocorria o “paradoxo do estoque”, pois faltava estoque para os itens desejados e sobrava estoque para os itens não vendidos, uma vez que a produção baseava-se em previsões de demanda, que divergiam da demanda real.

Estas características evidenciavam que o sistema de gestão da empresa A demandava por melhorias. Assim, a primeira alteração no sistema de PCP da empresa A ocorreu entre 2001 e 2002, com a decisão pela introdução da Manufatura Enxuta e suas técnicas de gestão da produção bem como as técnicas de PCP. Por essa razão, naquele período, iniciou-se uma campanha para a solução de problemas de fluxo de materiais, o que acarretou a introdução das práticas básicas de trabalho, além de mudanças em arranjo físico e fluxo, redução dos tempos de preparação, produção puxada, entre outras.

Por outro lado, os gestores da empresa entenderam que a produção puxada não se adaptaria aos fluxos de valor existentes, devido à grande variedade de produtos em cada linha de produção. Por isso, partindo dessas necessidades, os gestores da empresa, no final de 2002, adquiriram a licença de utilização de um *software* de programação da produção, o qual consistia em atualizar em tempo real a carteira de pedidos e os registros de estoque de modo a responder prontamente aos picos de demanda.

*Fato relevante: Os gestores da empresa adquiriram a licença de utilização de um software de programação da produção para dar agilidade às rotinas de PCP de curto prazo.*

#### **4.4.4. Informações sobre o desempenho operacional no estado original**

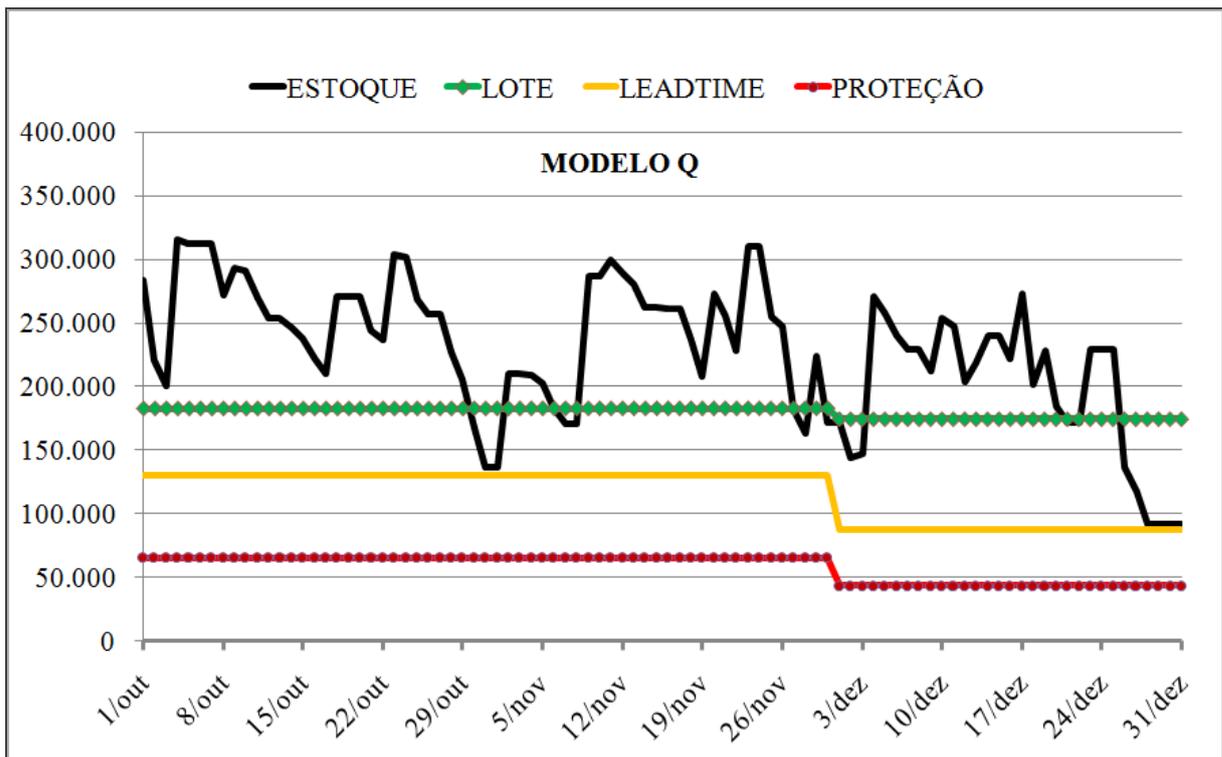
Após a consolidação da implantação do *software* de programação da produção, os gestores da empresa A perceberam resultados muito satisfatórios, sobretudo no fluxo de valor estudado, que passou a ser referência na empresa, no que se refere ao Nível de Serviço, que alcançou o patamar de 99%. Por causa desse resultado, o *software* foi implantado em outros fluxos de valor da empresa e tornou-se padrão em toda a organização.

Apesar do aumento do desempenho em termos de Nível de Serviço, à medida que os fluxos de valor implantavam o novo *software* de produção, os estoques de produtos finais acabados au-

mentavam, gerando a suspeita de que o novo sistema de programação da produção estaria gerando excesso de produção.

Tal percepção motivou a análise dos registros diários de estoque de produtos acabados - somente depois de cinco anos de utilização do *software*, em 2007 - cujos gráficos foram gerados no intuito de representar o movimento do estoque diário, comparando-o aos limites estabelecidos no plano detalhado de materiais – faixas verde, amarela e vermelha – por meio do cálculo do *Kanban* utilizado como prática geral na empresa A.

O gráfico consiste em abscissas referentes aos dias de produção, ao passo que as ordenadas correspondem aos limites planejados do estoque, expresso em peças fabricadas, com base no modelo de Ponto de Ressuprimento. Este gráfico apresenta as três faixas do quadro-*Kanban*, e apresenta dados históricos de estoque do período de 01/10/2007 a 31/12/2007, conforme ilustrado na **figura 4.5**:



**Figura 4.5 – Representação gráfica da posição do estoque diário versus os limites planejados do Ponto de Ressuprimento. Fonte: dados da empresa A.**

A faixa verde representa o estoque máximo planejado para o produto, a amarela representa o ponto de ressuprimento, a partir do qual se dispara a produção. A partir deste gráfico, ficou

evidenciado que o comportamento típico do estoque diário, para itens diversos, não mantinha qualquer relação com as três faixas do ponto de ressuprimento. Isto se dava pelo fato do *software* produzir acima dos limites planejados, antecipando a produção de modo a minimizar o número de preparações dos produtos ao longo da semana.

*Fato relevante: Embora o software tenha trazido aumento no nível de serviço, detectou-se a ocorrência da superprodução por antecipação no estado original.*

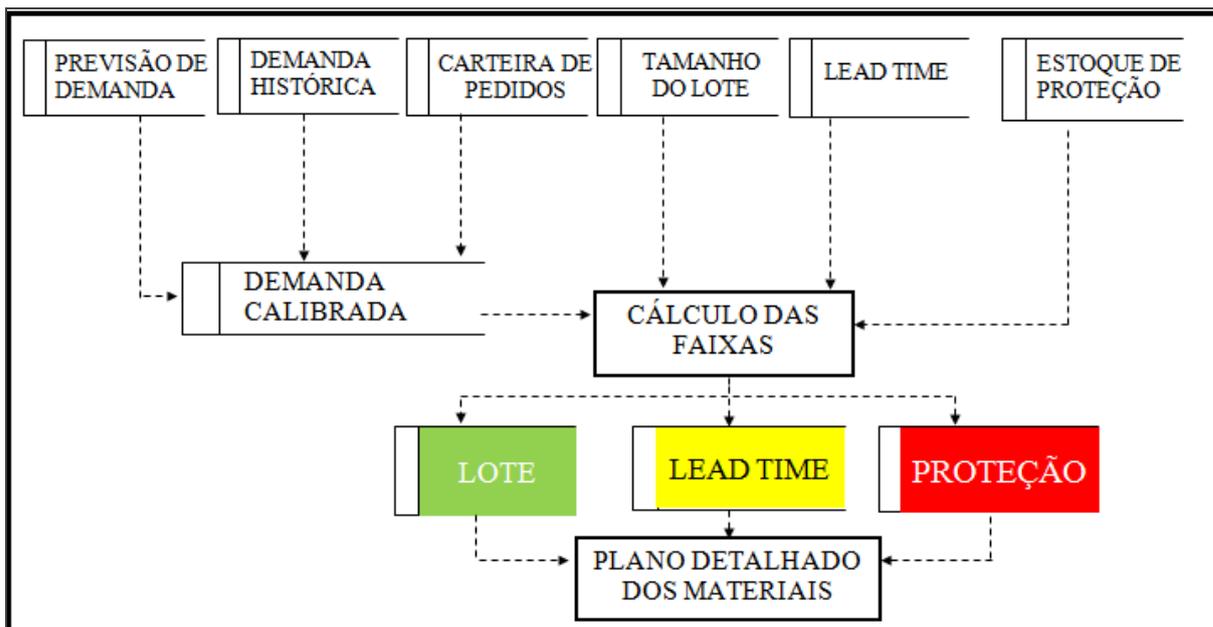
Por essa razão, embora o *software* fosse referido pelos gestores da empresa A como um *Kanban* eletrônico, tais evidências corroboram a falta de conexão entre a lógica de funcionamento entre o *software* e o Sistema *Kanban*. Por isso, tais evidências justificaram a busca por novas técnicas relacionadas à produção puxada e culminou na elaboração do método que será apresentado partindo de uma revisão e análise do método de PCP atual.

#### **4.4.5. Informações sobre o Planejamento de Médio Prazo no estado original**

A demanda mensal planejada, ou “demanda calibrada” é obtida a partir de uma média entre a média dos últimos três meses de histórico de vendas e a média dos próximos dois meses de previsão de demanda. Primeiramente, a analista de PCP acrescenta os pedidos em carteira, para determinar o valor da demanda calibrada para cada modelo de produtos que são produzidos para estoque (*make-to-stock*, MTS). Logo, a demanda varia em função da sazonalidade. Em seguida, determina-se o valor do estoque de proteção, baseado em um parâmetro que foi definido como sendo igual a 4 dias de demanda média, que é utilizado para as incertezas internas, tais como defeitos da qualidade, quebra de máquinas, falta de materiais; ou externos, para picos de demanda.

*Fato relevante: A política de estoque de proteção é mantida fixa, ao passo que a demanda é alterada para atender às mudanças de sazonalidade, que requer níveis maiores de estoques.*

No que tange ao fluxo de informações referentes ao carregamento mensal, este pode ser visualizado mediante a **figura 4.6:**



**Figura 4. 6 – Fluxo de informações do planejamento de médio prazo para calibração da demanda e cálculo do Kanban. Fonte: dados da empresa A.**

Depois de determinar a demanda calibrada, esta servirá como parâmetro de referência para a elaboração do planejamento detalhado dos materiais, representado por meio do cálculo do tamanho dos supermercados em todo o fluxo de valor utilizando uma equação de cálculo de Kanban.

No estado original, o planejamento de médio prazo abrangia 130 modelos de produtos, dentre, sete famílias de produtos, sendo 80 modelos com produção para estoque (*make-to-stock*, MTS) e 50 produzidos sob encomenda (*make-to-order*, MTO). Logo, constatou-se que não havia priorização dos itens, uma vez que não havia regras claras para tal.

*Fato relevante: Não havia priorização dos modelos de produtos.*

Uma vez calculadas as faixas do Kanban, estes valores correspondentes ao estoque dos produtos acabados são então carregados eletronicamente para o banco de dados do software de programação, para servir como referência para a reposição do estoque durante os ciclos de produção.

O cálculo de número de cartões do estado atual segue a **equação 2.1:**

$$N = \frac{DP}{NS \cdot A} + \frac{DD \cdot LT}{A} + \frac{DD \cdot EP}{A} \quad (2.1)$$

Utilizando as premissas de cálculo do procedimento de PCP, o *lead time* é estabelecido com um valor fixo, que representa o maior valor possível para o tempo de espera. Logo, para o processo puxador, os valores são:

Todos os itens: *Lead time* = três dias

O estoque de proteção é calculado utilizando um estoque adicional equivalente a um determinado número de dias de demanda média. Para isto, é fixo para os itens, variando de três a cinco dias. Para o processo puxador do fluxo estudado, os valores são:

Todos os itens: proteção de quatro dias ( $\alpha = 18\%$  da carga mensal)

O planejador de produção exporta estes valores eletronicamente e carregam-nos diretamente na base de dados do *Software* no início do mês corrente e serão utilizados por este *software* para gerar as sugestões de produção de cada item.

*Fato relevante: Os parâmetros de cálculo do Kanban são mantidos fixos, exceto a demanda do período (DP), relacionada à demanda calibrada - vinculada à sazonalidade - e o estoque de proteção.*

#### **4.4.6. Informações sobre o Planejamento de Curto Prazo no estado original**

O nível de planejamento de curto prazo tem como objetivos gerar os programas diários e os controles da produção e das compras. Para tal, é realizada de acordo com os passos referentes à programação e controle do processo puxador.

O *software* de programação da produção importa, eletronicamente, os valores de demanda histórica e prevista além dos pedidos em carteira a partir do MRP. Em seguida, o *software* verifica o horizonte de leitura de pedidos cadastrados, que equivale a uma carteira de pedidos de sete dias, no processo puxador. Ao indicar a data de início da programação, os pedidos cadastrados no sistema são então carregados e os estoques existentes são debitados.

O saldo entre pedidos e estoques irá gerar o programa de carga do processo puxador e, em seguida, gera um relatório contendo a programação da produção no processo puxador, cujos dados são classificados em ordem decrescente. Assim, a sequência diária é sugerida com base

no percentual de consumo do estoque dos produtos acabados. Este relatório pode ser representado na **figura 4.7**:

RELATÓRIO DE PROGRAMAÇÃO DIÁRIA						
DATA DE REFERÊNCIA		21/01/2008				
REGIÃO	ESTRATÉGIA (MTS/MTO)	CÓDIGO PRODUTO	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	% CONSUMIDO	DATA DE ENTREGA	ESTOQUE RESTANTE
<b>I - VERMELHA</b>						
	MTS	HAC000751	MODELO A	100,0	22/01/2008	-
	MTS	HAC000689	MODELO C	100,0	22/01/2008	-
	MTO	CED000299	MODELO E	-	22/01/2008	-
<b>II - AMARELA</b>						
	MTO	CED000245	MODELO H	-	23/01/2008	-
	MTS	HAC000731	MODELO Z	60,0	23/01/2008	165.000
	MTS	HAC000507	MODELO P	41,9	23/01/2008	120.000
<b>III - VERDE</b>						
	MTS	HAC000473	MODELO K	9,0	24/01/2008	375.000
	MTS	HAC000881	MODELO M	7,5	24/01/2008	298.720
	MTO	CED000212	MODELO D	-	25/01/2008	-
	MTS	HAC000125	MODELO J	3,3	26/01/2008	300.240

**Figura 4. 7 – Exemplo resumido do relatório de programação diária da produção no processo puxador. Fonte: dados da empresa A.**

Em outras palavras, quanto maior o percentual de consumo, menor será o valor do estoque restante na data atual, e maior será a prioridade de reposição do estoque do respectivo item. Assim, no exemplo da **figura 4.6**, o relatório foi simplificado para facilitar a compreensão da lógica de programação diária. Desse modo, com base no percentual de consumo do estoque, o *software* subtrai a carteira de pedidos do registro de estoque do dia atual. O resultado é chamado de “Estoque Restante” ou “Saldo do Estoque”. Este é comparado aos limites das três faixas do *Kanban* e o *software* gera uma sugestão de produção para cada item para elevar o nível de estoque na data atual ao valor máximo planejado. Este sugestão corresponde ao tamanho do lote de produção e recebe um número de ordem que fica registrado no sistema.

Em seguida, o *software* agrupa os pedidos firmados baseados na carteira de uma semana, em lotes de produção, com vistas a maximizar a utilização da capacidade existente ao reduzir o número de *Set up* por semana. Isto é obtido uma vez que os lotes de produção apresentam tamanhos variáveis, de acordo com o nível de demanda e os prazos de entrega cadastrados em cada pedido. Em seguida, os processos anteriores são programados com base no sistema pu-

xado existente entre o processo puxador e o processo imediatamente a montante, e assim por diante, até o início do fluxo de valor.

*Fato relevante: Constatou-se que o software de programação gerava um programa da produção baseando-se na carteira de pedidos de uma semana, logo, antecipa a produção.*

*Fato relevante: Constatou-se que o software de programação gerava sugestões de produção baseadas em lotes de tamanhos variáveis, para maximizar a utilização da capacidade semanal, e, por essa razão, reduzir o número de preparações no mesmo período.*

O coordenador imprime diariamente os relatórios e programa a produção diária utilizando valores de 50% a 100% do valor sugerido no sistema, caracterizando uma ação baseada na subjetividade, dependendo de cada coordenador nos diferentes turnos de trabalho. Por outro lado, embora tal subjetividade pudesse estar associada à autonomia no chão-de-fábrica, a decisão final sobre a programação estava centralizada no supervisor da produção, exceto em situações marcadas por picos de demanda. Nestas, ocorria a ruptura dos estoques de materiais em processo e insumos de produção. Por isso, cabia ao Gerente de Operações a decisão final sobre a realização das horas extras aos domingos, mudanças na programação ou a renegociação dos prazos de entrega de determinados clientes.

*Fato relevante: Constatou-se que o software de programação não apresentava regras claras para a definição do programa diário e não existiam controles visuais.*

*Fato relevante: Ficou evidenciado que o software de programação dava uma falsa noção de autonomia, pois apenas os coordenadores eram responsáveis pelo programa.*

Finalmente, levando em conta que o *software* apenas aponta uma sugestão de reposição do estoque a partir de lotes de tamanho variáveis, com base na atualização diária da carteira de pedidos com horizonte de sete dias à frente data atual de programação e nos gráficos de posição de estoque diário, apresentados na **figura 3.4**, a foi constatado que o *software* não nivela a produção dentro do conceito da Manufatura Enxuta, apesar de ser referenciado pelos gestores da empresa com um tipo de “Kanban eletrônico”.

*Fato relevante: Constatou-se que o software de programação não realizava o nivelamento da produção segundo o conceito da Produção Nivelada.*

*Fato relevante: Acreditava-se que o software fosse um tipo de Kanban-eletrônico, visto que este programava a produção no processo puxador.*

*Fato relevante: Constatou-se que os problemas causados por picos de produção que geravam horas extras se repetiam, não havendo solução definitiva.*

*Fato relevante: Constatou-se que o software não representa uma tecnologia totalmente confiável segundo os princípios enxutos.*

#### **4.4.7. Análise dos métodos de PCP da empresa A**

Dando continuidade ao método de pesquisa proposto por Eisenhardt (1989), esta seção apresenta a análise dos dados coletados na pesquisa de campo. É digno de nota que se optou por incluir os fatos relevantes listados no decorrer deste capítulo. Nesse contexto, a empresa A será analisada de acordo com os princípios e políticas da Produção Nivelada. Tal procedimento também visa diagnosticar se os métodos de PCP da empresa A, no estado atual, atendem ou não a esses critérios. Portanto, as referidas análises estão tabuladas nos **quadros 4.1 e 4.2**:

**Quadro 4. 1 - Princípios dos processos enxutos do Modelo Toyota.**

<b>PRINCÍPIO</b>	<b>FATOS RELEVANTES</b>	<b>ATENDE (SIM/NÃO)</b>
O fluxo contínuo traz os problemas à tona.	A produção ocorria em lotes de tamanho variáveis, e mudanças na programação frequentes são contrárias ao conceito de fluxo contínuo.	NÃO
Utilize sistemas puxados para evitar a superprodução.	Embora o <i>software</i> fosse considerado um “ <i>Kanban</i> eletrônico”, antecipava a produção minimizando as preparações semanais. Logo, não atende a este princípio.	NÃO
Nivele a produção ( <i>Heijunka</i> ).	Este também não era atendido, uma vez que a produção era caracterizada por picos e vales, em decorrência dos lotes de produção de tamanho variáveis e uma carteira de pedidos de uma semana. Assim, horas extras nos finais de semana e alterações nas programações eram frequentes.	NÃO
Crie a cultura de parar e resolver os problemas para obter qualidade na primeira tentativa.	Este princípio não era atendido, uma vez que os problemas se repetiam. Por exemplo, os picos de produção consumiam materiais em processo nos estágios anteriores, bem como causava ruptura dos estoques das embalagens e rótulos em função da produção não nivelada no puxador.	NÃO
Padronize as tarefas como base para a melhoria contínua e o <i>empowerment</i> dos funcionários	O <i>software</i> sugere uma produção diária em lotes de tamanho variável, o que denota a falta de padronização nas regras. Além disso, o conhecimento era centralizado, uma vez que apenas os coordenadores tinham a responsabilidade de analisar os relatórios diários e confirmar a programação diária.	NÃO
Utilize controles visuais para expor os problemas e melhorar o fluxo de produção.	Não havia controles visuais no processo puxador, uma vez que a programação é realizada com auxílio do <i>software</i> , cabendo aos coordenadores controlar o atendimento das ordens de serviço.	NÃO
Utilizar tecnologias confiáveis que sirvam aos processos e às pessoas e criem valor.	O <i>software</i> não permitir que as pessoas focalizassem as atividades de valor agregado. Por exemplo, os operadores não conheciam os critérios para as prioridades de produção.	NÃO

Fonte: elaborado pelo autor

**Quadro 4.2 – Políticas do Nivelamento da Produção e do Sistema *Kanban*.**

<b>POLÍTICA</b>	<b>FATOS RELEVANTES</b>	<b>ATENDE (SIM/NÃO)</b>
Priorizar os itens de maior contribuição às receitas mensais	Os algoritmos de programação do <i>software</i> não eram conhecidos, e priorizava apenas as datas de entrega dos pedidos.	NÃO
Orientar a redução gradual dos tamanhos dos lotes	O <i>software</i> não realizava o nivelamento da produção.	NÃO
Programar apenas o processo puxador	Esta política era atendida, conforme explicado anteriormente, pois apenas o puxador era programado.	SIM
Fluxos de informação simplificados e confiáveis	Não era atendido totalmente, uma vez que as regras para a definição da programação diária dependiam da subjetividade de cada coordenador.	NÃO
Reposição de itens consumidos no supermercado	Não é atendido porque o <i>software</i> sugere uma produção diária baseada nos registros de estoque e na carteira de pedidos em um horizonte de sete dias. Logo, antecipa a produção.	NÃO
Controlar a produção dos processos anteriores	A partir da produção do processo puxador, a produção nos processos anteriores era disparada por meio do Sistema <i>Kanban</i> de cartão único e um quadro <i>Kanban</i> .	SIM
Evitar a superprodução	O <i>software</i> antecipava a produção e sugeria, conforme explicado anteriormente, uma produção que culminava em estoques acima dos limites máximos planejados.	NÃO
Orientar as ações de melhoria contínua	Todas as ações realizadas não focalizavam a melhoria dos fluxos de materiais e das práticas de PCP, e sim as técnicas de trabalho, a organização, o arranjo físico, entre outros.	NÃO
Aumentar a autonomia ao descentralizar a tomada de decisões de programação	Não é atendido visto que apenas os coordenadores da produção têm essa atribuição.	NÃO
Deve ser orientado para a redução gradual do estoque no fluxo de valor	Não é atendido porque os parâmetros de cálculo de <i>Kanban</i> são fixos, exceto a demanda - corrigida em função da sazonalidade - e o estoque de proteção.	NÃO

Fonte: elaborado pelo autor

Finalmente, mediante a compilação dos dados tabulados nos **quadros 4.1 e 4.2**, constatou-se que as práticas originais de PCP da empresa A, no estado original não atendiam aos princípios e políticas da Produção Nivelada, excetuando-se pela existência da programação do processo puxador e na puxada de materiais nos processos anteriores pelo Sistema *Kanban*.

No que se refere aos princípios dos processos enxutos, relacionados ao “Modelo Toyota”, constatou-se que o *software* de programação da empresa era definido com uma política de produção com lotes de tamanho variável com base em uma carteira de pedidos com um horizonte de sete dias, o que caracterizava a antecipação da produção, ou seja, o pior desperdício de um sistema de produção. Nesse contexto, o cotidiano no ambiente produtivo era marcado por alta utilização da capacidade instalada, níveis elevados de estoques e instabilidade na produção, uma vez que, havia sinais de incertezas e mudanças na programação eram freqüentes.

No que diz respeito ao *software* de programação, este era considerado um tipo de “*Kanban* eletrônico”, por utilizar o conceito de faixas do *Kanban* para o dimensionamento dos estoques. Porém, constatou-se que, ao antecipar a produção, a política de reposição do supermercado não era considerada. Logo, o *software* nada tinha a ver o conceito de Sistema *Kanban*. Como agravante, a lógica de programação diária por antecipação causava picos e vales na produção, devido à política de produção em lotes de produção de tamanho variável e uma carteira de pedidos de uma semana.

Visto que a produção era desnivelada no processo puxador, havia a noção de urgência na fabricação de produtos finais, além de ocorrer falta de material em processo nos estágios anteriores. Estes sintomas sugeriam a ocorrência do Efeito Forrester, embora a mensuração deste fenômeno não fosse incluída no escopo desta pesquisa.

Em relação ao fluxo de informações, uma vez que o *software* sugere uma produção diária em lotes de tamanho variável, evidenciou-se a falta de padronização nas regras. Como agravante, o conhecimento acerca das necessidades de produção era centralizado, pois apenas os coordenadores tinham a responsabilidade de analisar os relatórios diários e confirmar a programação diária.

Outra constatação da pesquisa de campo foi a inexistência de controles visuais no processo puxador, uma vez que a programação era realizada com auxílio do *software*, cabendo aos coordenadores controlar o atendimento das ordens de serviço. Verificou-se a dependência na uti-

lização do *software* para a tomada de decisões diárias e as práticas de PCP originais não orientavam as pessoas às atividades de valor agregado relacionadas às atividades de chão-de-fábrica.

Embora as regras internas do *software* não fossem conhecidas, constatou-se que o mesmo não diferenciava os diversos produtos e priorizava as datas de entrega dos pedidos. E, apesar da Manufatura Enxuta ter sido implantada na empresa, constatou-se que o *software* não realizava o nivelamento da produção, pois este antecipava a produção e sugeria, conforme explicado anteriormente, uma produção que culminava em estoques acima dos limites máximos planejados. Estes são definidos com base em parâmetros fixos para o cálculo de *Kanban*, com exceção da demanda - revisada para atender às mudanças relacionadas à sazonalidade - e o estoque de proteção, que era fixo para os produtos.

#### 4.5. DIAGNÓSTICO DO ESTADO ORIGINAL

Esta seção corresponde aos passos 6 e 7 propostos por Eisenhardt (1989), no intuito de encontrar possíveis causas para os fatos analisados, ao abranger a comparação com a literatura existente. Com isto, com base nessas premissas e nas informações coletadas – na revisão bibliográfica e na análise do caso – foi possível diagnosticar quatro motivos principais para o desempenho dos métodos de PCP da empresa A e são então descritos:

##### 4.5.1. Quanto à compreensão dos conceitos

Apesar de que o sistema de gestão da empresa se encontre em processo de melhoria por meio das práticas enxutas, percebeu-se que havia pouco esclarecimento a respeito da Produção Nivelada. Uma evidência objetiva desta dificuldade foi o fato dos gestores da empresa considerarem o *software* como um tipo de “*Kanban* eletrônico”, muito embora este não atenda às políticas da produção puxada e nem mesmo possua a lógica de funcionamento do sistema de cartões.

##### 4.5.2. Quanto à adaptação dos conceitos ao sistema produtivo

Outra evidência encontrada, a partir da análise dos dados, foi o fato dos gestores da empresa A terem adaptado as ferramentas e conceitos da Manufatura Enxuta ao ambiente do sistema

de produção. Assim, mesmo não compreendendo corretamente os conceitos, acreditava-se que o *software* deveria ser adaptado para ajustar-se às incertezas da demanda externa, de forma a garantir o nível de serviço aos clientes. Porém, a consequência principal das adaptações foi o aumento dos níveis de estoque de produtos acabados. De fato, conforme apontado no capítulo 1, a *Toyota* elimina os problemas de complexidade e incertezas ao simplificar os seus processos e atuar na eliminação dos desperdícios (NEWMAN & SRIDHARAN, 1995). Por outro lado, muitas empresas seguem o caminho inverso, tal como foi evidenciado na empresa A.

#### **4.5.3. Quanto à coerência entre os conceitos e as práticas**

Outra evidência encontrada na pesquisa refere-se à falta de vínculo entre o *software* e o Sistema *Kanban*, e isto ocorria por duas razões: a reposição do estoque não obedece a uma indicação do “ponto de ressuprimento” propriamente dito, logo não há reposição do estoque e sim, uma antecipação da produção com base na carteira semanal de pedidos. Outra razão ocorre pelo fato do *software* antecipar a produção, gerando acúmulo de estoques acima dos limites planejados. Conseqüentemente, a equação utilizada para o plano detalhado dos materiais serve apenas para indicar o estoque máximo teórico, o qual não era realmente cumprido. Tais evidências foram confirmadas mediante a análise dos registros de estoque diário e pelos relatórios das ordens de produção.

#### **4.5.4. Quanto à adesão aos fundamentos da Manufatura Enxuta**

Esta evidência é decorrente da anterior, na qual os desperdícios devem ser incessantemente eliminados. Dentre estes, a “superprodução” é considerada o pior desperdício, e deve ser fortemente combatida. Por outro lado, conforme visto no item anterior, o *software* utilizado na programação do processo puxador antecipava a produção mediante a análise da carteira de pedidos em um horizonte de sete dias de forma a reduzir o número de preparações semanais. Assim, a “superprodução por antecipação” – produzir antes do necessário – era realizada diariamente sem a atenção por parte da liderança.

Com base nessas constatações, as conclusões sobre o estado original são listadas na seção seguinte.

#### *4.6. CONCLUSÕES SOBRE O ESTADO ORIGINAL*

Baseado no oitavo passo proposto por Eisenhardt (1989), esta seção apresenta as conclusões sobre o estudo de caso. Ficou evidenciado que os métodos atuais da empresa A não atendem aos princípios dos processos enxutos e nem às políticas da produção nivelada e puxada. Isto se deve em parte, pela falta de compreensão dos conceitos, que acarretou a adaptação dos conceitos da Manufatura Enxuta bem como na utilização de uma programação realizada sem vínculo com o Ponto de Ressuprimento.

Logo, é razoável supor, que os conceitos da Manufatura Enxuta, em particular da Produção Nivelada, não foram introduzidos corretamente como prática de PCP da empresa, além do que se evidenciou a falta de adesão ao combate aos desperdícios como filosofia gerencial da empresa. Finalmente, todas as evidências objetivas apresentadas, bem como as causas possíveis apontadas neste capítulo sugerem a necessidade de recomendar o método proposto à empresa.

Ficou evidenciado que a empresa A apresenta práticas de PCP que levam à superprodução, gerando níveis de estoques acima dos limites planejados, e, como agravante, de forma não controlada. Logo, percebeu-se que os problemas existentes no estado atual são uma consequência direta da falta de compreensão dos conceitos fundamentais da Manufatura Enxuta, da adaptação dos conceitos de forma inadequada e da falha em aderir aos princípios gerais da Produção Nivelada e do combate aos desperdícios.

Por essas razões indicadas, o método de implantação da Produção Nivelada foi proposto à empresa A, conforme será detalhado no capítulo seguinte, mostrando a sua relação com os níveis de planejamento de médio e curto prazo, bem como com os elementos teóricos analisados nos capítulos 2 e 3.

#### *4.7. VALIDAÇÃO DO MÉTODO NO ESTADO FUTURO*

Esta seção apresenta o estudo de caso no estado futuro visando à aplicação do método proposto na empresa A, a partir das considerações sobre as deficiências constatadas nas práticas atuais da referida empresa. Esta parte do estudo de caso consiste nas etapas correspondem às etapas 9 a 17 referidas na **figura 4.2**. E, de acordo com os elementos teóricos estabelecidos no capítulo 2, os passos para a implantação da Produção Nivelada, foram apresentados no capítu-

lo 3, em particular na **figura 3.2**. Desse modo, as duas etapas iniciais, referentes ao planejamento e execução da Produção Nivelada estão resumidas de acordo com o **quadro 4.3**:

**Quadro 4.3 – Passos para o planejamento e a execução do método proposto.**

PDCA	ETAPA	ATIVIDADES
P	Planejamento para o estado futuro	a) Selecionar os produtos e priorizar os itens A e B b) Elaboração do planejamento da Produção Nivelada <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Definir a carga mensal planejada</li> <li>ii. Definir a política de estoque de proteção</li> <li>iii. Elaborar o plano nivelado</li> <li>iv. Definir o Sistema <i>Kanban</i></li> <li>v. Definir as regras de operação da Produção Nivelada</li> </ul>
D	Execução do plano	a) Treinamento b) Execução do projeto piloto <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Teste conceitual</li> <li>ii. Implantação piloto</li> </ul> c) Melhoria contínua

Fonte: quadro 3.2.

Logo, com base no **quadro 4.3**, as etapas são apresentadas nas seções seguintes.

#### **4.7.1. Planejamento para o estado futuro**

A equipe responsável pela aplicação do método foi definida para a implantação do projeto piloto. Logo, o gerente de operações do fluxo de valor estudado foi indicado como líder do projeto e selecionou os membros da equipe em três funções organizacionais. Tais funções abrangem a analista de PCP, além dos supervisores e coordenadores de produção e de manufatura, subordinados do Gerente de Manufatura e um coordenador de Lean Manufacturing, como representante do departamento de projetos.

Esta equipe é composta por membros permanentes, listados anteriormente e, outros funcionários eram indicados quando necessário para fornecer informações complementares ou para realizar atividades complementares durante o desenvolvimento do projeto piloto. Feitas as aná-

lises e considerações sobre o estado atual, como passo seguinte, a equipe iniciou o desenvolvimento do estado futuro, cujos elementos foram detalhados nos capítulos 2 e 3. Logo, as atividades são explicadas nas seções subsequentes.

#### 4.7.2. Selecionar os produtos e priorizar os itens A e B

Utilizando o critério de classificação ABC, os produtos foram selecionados, dentre os oitenta modelos de produtos com política MTS, de forma a compor um volume de 80% do volume mensal médio. Logo, o resultado foi uma lista com quatro famílias de produtos representadas por apenas 22 modelos de produtos.

Inicialmente, a equipe decidiu que o nivelamento seria realizado separando 11 modelos para cada máquina que compõe o processo puxador. Porém, no decorrer da aplicação do novo método, foi constatado que tal divisão seria desnecessária, conforme será visto com mais detalhes nas seções seguintes.

Desta forma, os itens selecionados foram identificados com a denominação genérica Modelo, seguido de uma letra do alfabeto, para garantir a confidencialidade das informações da empresa A. Finalmente, a lista dos 22 itens “TOP”, que representam 80% do volume mensal médio, está indicada na **tabela 4.1**:

<b>Família</b>	<b>Produto</b>	<b>Demanda média (peças)</b>	<b>Família</b>	<b>Produto</b>	<b>Demanda média (peças)</b>
100	Modelo A	739.000	300	Modelo L	484.000
100	Modelo B	394.000	300	Modelo M	386.000
100	Modelo C	556.000	300	Modelo N	260.000
100	Modelo D	208.000	300	Modelo O	630.000
100	Modelo E	1.043.000	400	Modelo P	737.000
200	Modelo F	377.000	400	Modelo Q	523.000
200	Modelo G	346.000	400	Modelo R	603.000
200	Modelo H	276.000	400	Modelo S	469.000
300	Modelo I	832.000	400	Modelo T	1.371.000
300	Modelo J	1.000.000	400	Modelo U	250.000
300	Modelo K	862.000	400	Modelo V	70.000

**Tabela 4. 1 - Itens TOP representados pelos modelos de produtos de maior importância dentre quatro famílias de produtos. Fonte: dados da empresa A.**

Os valores considerados na figura representam uma demanda média dos últimos três meses. Sendo assim, a equipe verificou que os modelos de produtos apresentam estabilidade na representatividade na demanda mensal. Em outras palavras, a equipe constatou que o *mix* de modelos de produtos considerados TOP não sofrerá alteração ao longo do tempo.

*Fato relevante: O método introduziu o critério de priorização dos produtos*

Em seguida, feita a priorização dos modelos de produtos, a equipe decidiu que o *software* atual será utilizado para controlar apenas os itens NTOP, os seja, os que correspondem aos 20% da demanda mensal média, incluindo os itens MTO existentes no fluxo de valor. Dessa forma, os relatórios de controle da invasão do estoque, emitidos pelo *software* atual, serão utilizados apenas para a programação dos itens que contribuem em menor grau às receitas do fluxo de valor estudado. Em suma, o sistema produtivo será operado com dois métodos de programação da produção, apresentados na **tabela 4.2**:

<b>Métodos de PCP</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Estratégia</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Participação na demanda mensal</b>
Produção Nivelada	Itens “A” e “B” (TOP)	MTS	22	80%
<i>Software</i> atual de programação	Itens “C” (NTOP)	MTS/MTO	108	20%

**Tabela 4. 2 - Métodos de PCP utilizados para a programação do fluxo de valor Estudado no estado futuro. Fonte: dados da empresa A.**

#### **4.7.3. Elaboração do planejamento da Produção Nivelada**

Depois de concluída primeira atividade, a equipe iniciou o planejamento da Produção Nivelada propriamente dito, com base na metodologia apresentada nos capítulos 2 e 3. Esta atividade inclui a elaboração do plano nivelado, a definição do Sistema *Kanban* e a definição das regras de operação do sistema como um todo. Estas estão explicadas:

a) *Definir a carga mensal planejada*

Como parte do planejamento de médio prazo, esta rotina não foi alterada na empresa A, uma vez que a demanda mensal calibrada continua sendo definida com base nos mesmos

critérios: uma média é obtida a partir da média dos dois meses de demanda prevista e a média dos últimos três meses de histórico de demanda.

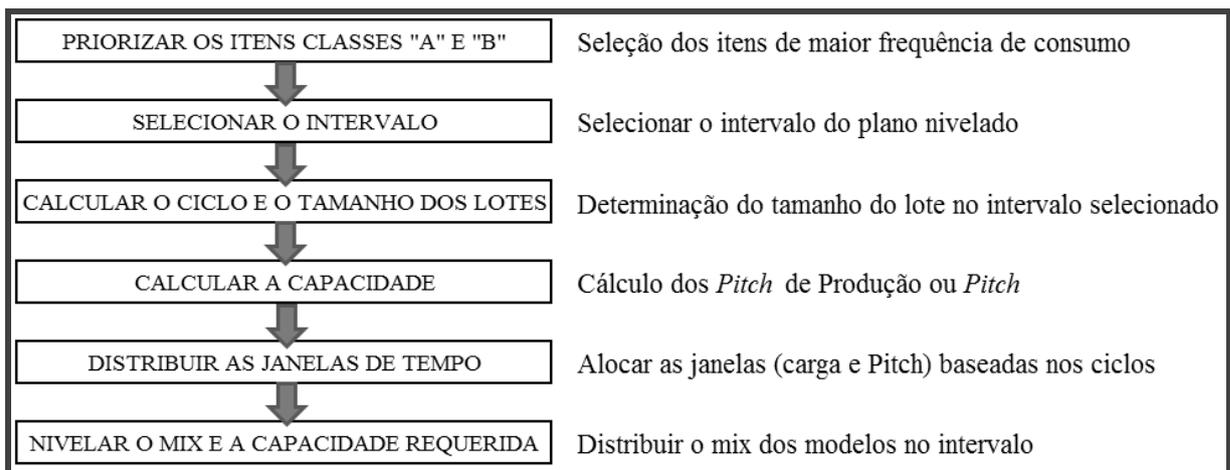
b) *Definir a política de estoque de proteção*

Inicialmente, o critério de definição do estoque de proteção segue a mesma regra praticada no estado original, isto é, utiliza-se, como política, 4 dias de estoque de proteção para os itens. Por outro lado, a equipe percebeu que, mediante a aplicação do método e da análise dos resultados de desempenho operacional, a possibilidade de realizar um plano de redução gradual do estoque de proteção, conforme será visto com mais detalhes ao final deste capítulo.

*Fato relevante: Identificou-se a necessidade de reduzir o estoque de proteção, gradualmente, como forma de reduzir o estoque planejado dos produtos.*

c) *Elaborar o plano nivelado*

A partir da seleção prévia dos itens TOP, a equipe desenvolveu o plano nivelado com base no critério de capacidade requerida (*Pitch ou Pitch de Produção*), uma vez que as taxas de produção variam ao se alternar entre os diversos modelos de produtos. Em seguida, a equipe encerrou a primeira tarefa do fluxo de informações descritas na **figura 4.8**:



**Figura 4. 8 – Fluxo de informações de definição do plano nivelado.**

Em seguida, a equipe definiu que o intervalo do plano nivelado deveria ser um submúltiplo do mês de produção. Em outras palavras, a equipe partiu do pressuposto que, considerando que o

mês teórico apresenta 24 dias de produção, em média, o plano deveria ter o equivalente a uma semana de produção. Por isso, a equipe decidiu que o intervalo de seis dias (de segunda a sábado) facilitaria a visualização do conceito de ciclo de produção, levando em conta que o planejamento dos recursos e dos materiais é geralmente realizado em um horizonte semanal.

Partindo dessa premissa, a terceira decisão relaciona-se a frequência de reposição planejada para cada modelo, a qual servirá de entrada para o plano detalhado de materiais, conforme explicado no capítulo 3. Assim, a equipe iniciou a análise da carga mensal e do tamanho de lote de produção, associado ao número de *Set up* de cada modelo durante o intervalo escolhido. Tal análise foi realizada dividindo os itens TOP em dois grupos de onze modelos de produtos, sendo um para cada máquina.

Utilizando uma planilha eletrônica, a equipe tabulou os dados coletados no sistema sobre a demanda histórica e lançou mão da regra apresentada no capítulo 2, referente à definição do ciclo de produção. Dessa forma, o modelo T, que apresenta a maior demanda e ciclo diário, foi considerado 100%, e então o ciclo dos outros itens foi determinado da seguinte maneira: os itens que apresentarem demanda acima de 50% do valor da demanda do modelo T, terão ciclo diário (1D); os que estiverem entre 25% e 50%, terão ciclo a cada dois dias (2D); e finalmente, os itens que tiverem demanda inferior a 25% da demanda do modelo T, terão ciclo a cada quatro dias. Os cálculos realizados foram então consolidados na planilha eletrônica, representada pela **tabela 4.3**:

Produtos	Demanda Mensal (peças)	Demanda relativa ao Modelo T	Ciclo	Demanda diária média (peças/dia)	Número setup por mês	Número set up semana	Tamanho lote (peças)
Modelo T	1.371.000	100%	1D	57.125	24	6	57.125
Modelo K	862.000	63%	1D	35.917	24	6	35.917
Modelo I	832.000	61%	1D	34.667	24	6	34.667
Modelo P	737.000	54%	1D	30.708	24	6	30.708
Modelo O	630.000	46%	2D	26.250	12	3	52.250
Modelo R	603.000	44%	2D	25.125	12	3	50.250
Modelo Q	523.000	38%	2D	21.792	12	3	43.583
Modelo F	377.000	27%	2D	15.708	12	3	31.417
Modelo G	346.000	25%	2D	14.417	12	3	28.833
Modelo H	276.000	20%	4D	11.500	4	1	69.000
Modelo N	260.000	19%	4D	10.803	4	1	65.000

**Tabela 4.3 - Tabulação dos dados para a definição do ciclo de produção dos onze modelos de produtos para a máquina 1. Fonte: dados da empresa A.**

Como base nessa regra geral, e considerando um intervalo de seis dias, o ciclo diário apresenta vinte e quatro preparações (*Set up*) por mês ou seis por semana, ao passo que o ciclo a cada dois dias apresenta apenas três por semana. Por último, o ciclo a cada quatro dias só apresenta um *Set up* na semana. Ainda na mesma figura, pode ser visualizado, que, quando o ciclo é diário, o tamanho do lote é igual à demanda diária média; ciclos a cada dois dias resultam em tamanho do lote igual ao dobro; e a cada quatro dias, o lote é quatro vezes maior.

*Fato relevante: O método permitiu a utilização de lotes de tamanhos fixos.*

Em seguida, mediante a definição do ciclo, e conseqüentemente, do número de *Set up* na semana, o tamanho do lote foi determinado com o objetivo de compará-los aos respectivos tamanhos mínimos de lote. Estes são calculados, com base nos dados da figura anterior, incluindo as informações referentes ao tamanho da bobina, expresso em metros quadrados, visto que as bobinas têm a mesma largura, com comprimento total fixo.

A equipe verificou, como característica do processo, que são produzidas 21 peças estampadas para cada metro quadrado da bobina e que apenas oito produtos são fabricados com fator de velocidade da máquina igual a 1 - para velocidade normal - e catorze produtos com o fator igual a 2, para cortes mais rápidos. Estes são associados às chapas de espessura menor. Logo, o lote mínimo é calculado reunindo os dois parâmetros do processo, o tamanho da bobina e o fator de velocidade por meio da **equação 4.1**:

$$LM = 21 \cdot FV \cdot TB \quad (4.1)$$

Onde:

LM = Lote mínimo de produção, limitado ao tamanho da bobina, expresso em peças

21 = fator de proporcionalidade, expresso em peças/m<sup>2</sup>

FV = Fator de Velocidade, adimensional

TB = Tamanho da bobina, expresso em m<sup>2</sup>

*Fato relevante: O fluxo de valor estudado apresenta restrição técnica quanto ao tamanho dos lotes, que impede a redução significativa nos mesmos.*

Em seguida, calculou-se o tamanho dos lotes mínimos de produção, relacionados ao tamanho das bobinas que saem do processo de tratamento térmico. Depois, a equipe tabulou os dados, gerando a **tabela 4.4**:

Produtos	Demanda Mensal (peças)	Demanda relativa ao Modelo T	Ciclo	Tamanho do lote (peças)	Tamanho da bobina (m <sup>2</sup> )	Fator de velocidade (1 ou 2)	Lote mínimo (peças)
Modelo T	1.371.000	100%	1D	57.125	1.500	2	63.000
Modelo K	862.000	63%	1D	35.917	1.100	2	46.200
Modelo I	832.000	61%	1D	34.667	2.000	2	84.000
Modelo P	737.000	54%	1D	30.708	1.500	2	63.000
Modelo O	630.000	46%	2D	52.500	1.300	2	54.600
Modelo R	603.000	44%	2D	50.250	1.800	2	75.600
Modelo Q	523.000	38%	2D	43.583	1.500	2	63.000
Modelo F	377.000	27%	2D	31.417	1.500	1	31.500
Modelo G	346.000	25%	2D	28.833	1.200	1	25.200
Modelo H	276.000	20%	4D	69.000	1.300	1	27.300
Modelo N	260.000	19%	4D	65.000	1.800	2	75.600

**Tabela 4. 4 - Cálculo dos lotes mínimos para comparação aos lotes de produção gerados a partir do critério de definição dos ciclos da máquina 1. Fonte: dados da empresa A.**

Neste caso, verificou-se uma particularidade do processo puxador quanto ao tamanho dos lotes, uma vez que, por razões técnicas, o tamanho das bobinas não pode ser reduzido. Logo, o Pitch de Produção deve ser proporcional ao tamanho do insumo (bobina) do processo puxador, ao invés de utilizar-se a embalagem de venda para o cliente. Mesmo assim, produzir em lotes mínimos resulta em menos desperdício, levando em conta a definição de espera de lotes, no qual os recursos produtivos ficam ocupados produzindo lotes grandes que não necessariamente serão consumidos de imediato, além de atrasar a produção de outros produtos.

Ainda de acordo com a **tabela 4.4**, a equipe percebeu que o tamanho do lote, determinado pelo critério de ciclos citado no capítulo 2, e o lote mínimo divergiam em oito dos onze modelos, sendo que resultados similares foram encontrados para os outros modelos de produtos. Logo, ficou evidenciado que o critério de definição dos ciclos não foi adequado à realidade do processo puxador do fluxo estudado. Por essa razão, realizou-se um ajuste manual nos tamanhos dos lotes de produção - por tentativa e erro - ao modificar o número de *Set up* no mês, tendo em vista a necessidade de verificar se seria possível aproximar os valores teóricos aos mínimos.

*Fato relevante: O método proposto na literatura para definição dos ciclos de produção não possibilitou uma solução ótima, por isso foi feito um ajuste manual nos valores.*

Dessa forma, tal ajuste foi tabulado, conforme pode ser visualizado na **tabela 4.5**:

Produtos	Demanda Mensal (peças)	Demanda diária média (peças/dia)	Número Set up por mês	Número de Set up revisado	Número Set up Semana	Tamanho do lote (peças)	Lote mínimo (peças)
Modelo T	1.371.000	57.125	24	20	5	68.550	63.000
Modelo K	862.000	35.917	24	16	4	53.875	46.200
Modelo I	832.000	34.667	24	12	3	69.333	84.000
Modelo P	737.000	30.708	24	12	3	61.417	63.000
Modelo O	630.000	26.250	12	12	3	52.500	54.600
Modelo R	603.000	25.125	12	8	2	75.375	75.600
Modelo Q	523.000	21.792	12	8	2	65.375	63.000
Modelo F	377.000	15.708	12	12	3	31.417	31.500
Modelo G	346.000	14.417	12	12	3	28.333	25.200
Modelo H	276.000	11.500	4	8	2	34.500	27.300
Modelo N	260.000	10.803	4	4	1	65.000	75.600

**Tabela 4.5 – Revisão dos tamanhos dos lotes teóricos por meio do ajuste manual no número de preparações no mês para a máquina 1. Fonte: dados da empresa A.**

A equipe percebeu que, após o ajuste manual, os tamanhos dos lotes teóricos se aproximaram dos lotes mínimos, e, desta forma, constatou-se que este critério é mais genérico que o primeiro tendo em vista a impossibilidade de realizar uma solução ótima. Em seguida, elaborou o plano nivelado para a máquina 2, com os onze itens restantes, representado pela **tabela 4.6**:

Produtos	Demanda Mensal (peças)	Demanda relativa ao Modelo E	Ciclo	Tamanho do lote (peças)	Tamanho da bobina (m <sup>2</sup> )	Fator de velocidade (1 ou 2)	Lote mínimo (peças)
Modelo E	1.043.000	100%	1D	43.458	1.650	2	69.300
Modelo J	1.000.000	96%	1D	41.667	2.000	2	84.000
Modelo A	739.000	71%	1D	30.792	1.650	2	69.300
Modelo C	556.000	53%	1D	23.197	1.500	2	63.000
Modelo L	484.000	46%	2D	40.333	2.500	2	105.000
Modelo S	469.000	45%	2D	39.083	2.500	2	105.000
Modelo B	394.000	38%	2D	32.833	2.250	2	94.500
Modelo M	386.000	37%	2D	32.167	2.500	2	105.000
Modelo U	250.000	24%	2D	20.833	1.500	1	31.500
Modelo D	208.000	20%	4D	52.000	2.500	1	52.500
Modelo V	70.000	7%	4D	17.500	1.200	1	25.200

**Tabela 4.6 - Cálculo dos lotes mínimos para comparação aos lotes de produção gerados a partir do critério de definição dos ciclos da máquina 2. Fonte: dados da empresa A.**

Com base nestes dados tabulados, ficou evidenciado que o critério de ciclos também não serviria para a máquina 2, pois a houve diferença significativa entre os lotes teóricos e mínimos.

Assim, a equipe realizou o ajuste manual dos tamanhos de lotes, analogamente ao que foi feito na máquina 1. Com posse dos dados complementares da máquina 2, foi constatado que o ajuste manual não gerou uma solução exata, porém este critério foi aceito pelo líder do projeto. Finalmente, o resultado foi então tabulado, conforme indicado na **tabela 4.7**:

Produtos	Demanda Mensal (peças)	Demanda diária média (peças/dia)	Número Set up por mês	Número de Set up revisado	Número Set up Semana	Tamanho do lote (peças)	Lote mínimo (peças)
Modelo E	1.043.000	43.458	24	16	4	65.188	69.300
Modelo J	1.000.000	41.667	24	12	3	83.333	84.000
Modelo A	739.000	30.792	24	12	3	61.583	69.300
Modelo C	556.000	23.167	24	8	2	69.500	63.000
Modelo L	484.000	20.167	12	4	1	121.000	105.000
Modelo S	469.000	19.542	12	4	1	117.250	105.000
Modelo B	394.000	16.417	12	4	1	98.500	94.500
Modelo M	386.000	16.083	12	4	1	96.500	105.000
Modelo U	250.000	10.417	12	4	1	62.500	31.500
Modelo D	208.000	8.667	4	4	1	52.000	52.500
Modelo V	70.000	2.917	4	4	1	17.250	25.200

**Tabela 4.7 - Revisão dos tamanhos dos lotes teóricos por meio do ajuste manual no número de preparações no mês para a máquina 2. Fonte: dados da empresa A.**

Após a definição do tamanho do lote mínimo de cada modelo, a equipe determinou o tamanho do lote médio, igual a **65.673 peças**, apenas como medida comparativa. Em seguida, calculou-se a capacidade requerida para processar os respectivos lotes, previamente estabelecidos. Este tempo deve considerar o tempo de *Set up*, acrescido do tempo de processamento do lote a ser definido para cada modelo de produto. Porém, a equipe não conhecia os valores atualizados das taxas de produção das máquinas, o que resultou na primeira melhoria identificada com a introdução do método, ou seja, a mensuração atualizada das taxas de produção.

*Fato relevante: Constatou-se a necessidade de atualizar os valores de capacidade disponível representada pelas taxas de produção para cada modelo de produto.*

Utilizando as mesmas planilhas eletrônicas, e adicionando informações sobre as taxas de produção para cada um dos modelos de produtos, a equipe calculou a capacidade requerida para cada um dos modelos, iniciando pelo modelo T. Neste caso, a taxa de produção é igual a 63.000 peças /hora, isto é, 583 peças /minuto, com tempo de *Set up* igual a 9 minutos. Dessa

forma, utilizando a **equação 3.6** apresentada no capítulo 3, o *Pitch* foi calculado da seguinte maneira:

$$Pitch = T_{SET} + \frac{LOTE}{TP} \quad (3.6)$$

$$Pitch = 9 \text{ [min]} + 63.000 \text{ [peças]} / 583 \text{ [peças/min]}$$

$$Pitch = 117 \text{ min}$$

Em outras palavras, para processar um lote de 63.000 peças do modelo T, são necessárias aproximadamente duas horas de produção na máquina 1. Por isso, este tempo será tratado como “janela de tempo”, na atividade seguinte. Finalmente, com base neste critério, a equipe repetiu os cálculos para os modelos dessa máquina, e os dados foram tabulados, gerando a **tabela 4.8**:

Produtos	Demanda Mensal (peças)	Demanda diária média (peças/dia)	Lote mínimo (peças)	Taxa de Produção (peças/h)	Taxa de Produção (peças/min)	Tempo Set up (min)	Pitch (min)
Modelo T	1.371.000	57.125	63.000	35.000	583	9	117
Modelo K	862.000	35.917	46.200	30.000	500	9	101
Modelo I	832.000	34.667	84.000	30.000	500	9	177
Modelo P	737.000	30.708	63.000	35.000	583	9	117
Modelo O	630.000	26.250	54.600	30.000	500	9	118
Modelo R	603.000	25.125	75.600	35.000	583	9	139
Modelo Q	523.000	21.792	63.000	35.000	583	9	117
Modelo F	377.000	15.708	31.500	20.000	333	9	104
Modelo G	346.000	14.417	25.200	30.000	500	9	59
Modelo H	276.000	11.500	27.300	30.000	500	9	64
Modelo N	260.000	10.803	75.600	22.800	380	9	208

**Tabela 4.8 - Cálculo do *Pitch* de produção para o processamento dos lotes mínimos dos onze modelos de produtos para a máquina 1. Fonte: dados da empresa A.**

Logo, utilizando a mesma premissa de cálculo, os dados referentes aos modelos de produtos produzidos na máquina 2 foram tabulados e apresentados conforme **tabela 4.9**:

Produtos	Demanda Mensal (peças)	Demanda diária média (peças/dia)	Lote mínimo (peças)	Taxa de Produção (peças/h)	Taxa de Produção (peças/min)	Tempo Set up (min)	Pitch (min)
Modelo E	1.043.000	43.458	69.300	25.000	417	9	175
Modelo J	1.000.000	41.667	84.000	30.000	500	9	177
Modelo A	739.000	30.792	69.300	30.000	500	9	148
Modelo C	556.000	23.167	63.000	30.000	500	9	135
Modelo L	484.000	20.167	105.000	30.000	500	9	219
Modelo S	469.000	19.542	105.000	35.000	583	9	189
Modelo B	394.000	16.417	94.500	30.000	500	9	198
Modelo M	386.000	16.083	105.000	30.000	500	9	219
Modelo U	250.000	10.417	31.500	20.000	333	9	198
Modelo D	208.000	8.667	52.500	30.000	500	9	114
Modelo V	70.000	2.917	25.200	20.000	333	9	85

**Tabela 4.9 - Cálculo do *Pitch* de produção para o processamento dos lotes mínimos dos onze modelos de produtos para a máquina 2. Fonte: dados da empresa A.**

*Fato relevante: Evidenciou-se haver diferenças nas taxas de produção entre os modelos de produtos.*

Após os cálculos serem finalizados, a equipe calculou o *Pitch* médio igual a 144 min, e, em seguida, elaborou o plano nivelado para as duas máquinas. Este abarca as informações sobre o intervalo de seis dias, além dos tamanhos de lotes mínimos e os respectivos *Pitch* de produção. Logo, é possível sumarizar que o plano nivelado consiste na distribuição da capacidade requerida e da gama de modelos de produtos ao longo da semana de produção.

*Fato relevante: Os produtos apresentam valores de *Pitch* diferentes entre si, variando de 59 a 219 min, com média igual a 144 min, corroborando a produção em lotes.*

Por outro lado, a equipe se deparou com um problema relacionado à distribuição da gama de modelos, uma vez que não havia uma regra clara para determinar em quais dias da semana cada item devesse ser planejado. Logo, utilizando um ajuste de tentativa e erro, a equipe distribuiu os lotes de produção, com vistas a manter a utilização da capacidade diária mais uniforme possível ao longo dos seis dias do plano nivelado, sem se basear em uma regra preestabelecida. Tal plano pode ser representado na **tabela 4.10**:

DESCRIÇÃO	SEG	Pitch (min)	TER	Pitch (min)	QUA	Pitch (min)	QUI	Pitch (min)	SEX	Pitch (min)	SAB	Pitch (min)
Modelo T	63.000	117	63.000	117	63.000	117	63.000	117	63.000	117		
Modelo I	84.000	177			84.000	177			84.000	177		
Modelo K	46.200	101	46.200	101			46.200	101			46.200	101
Modelo P			63.000	117			63.000	117			63.000	117
Modelo O	54.600	118			54.600	118			54.600	118		
Modelo R					75.600	139					75.600	139
Modelo Q					63.000	117					63.000	117
Modelo F			31.500	104			31.500	104			31.500	104
Modelo G			25.200	59			25.200	59			25.200	59
Modelo N									75.600	208		
Modelo H	27.300	64					27.300	64				
CAPAC-REQ DIÁRIA (min)		577		499		668		562		620		637
TEMPO DISP. TOTAL (min)		1.215		1.215		1.215		1.215		1.215		900
SALDO (min)		638		716		547		653		595		263
CAPAC-REQ DIÁRIA (h)		9,6		8,3		11,1		9,4		10,3		10,6
% UTILIZAÇÃO CAPACIDADE		48%		41%		55%		46%		51%		71%
SETUP DIÁRIOS		5		5		5		6		4		6

**Tabela 4.10 - Plano nivelado de seis dias com os lotes de produção e os respectivos *Pitch* de produção para a máquina 1. Fonte: dados da empresa A.**

Com base neste plano indicado na **tabela 4.10**, contabilizou-se a soma da carga diária e a comparou-se ao tempo disponível para produzir, TDP, no caso 20,25 h de segunda a sexta, e 15 h aos sábados. Por essa razão, o percentual de utilização da carga diária foi mantido entre 41% e 71%, não representado, necessariamente, uma solução exata. Inclusive, verificou-se que, ao reduzir os lotes aos valores mínimos, o sistema operaria com capacidade ociosa para carga mensal planejada, realizando, em média, apenas cinco preparações (*Set up*) por dia.

*Fato relevante: Constatou-se que o valor teórico da utilização da capacidade para a máquina 1 variava entre 41% e 71%, gerando indícios de capacidade ociosa.*

Na sequência, elaborou-se o plano nivelado da máquina 2, indicado na **tabela 4.11**:

DESCRIÇÃO	SEG	Pitch (min)	TER	Pitch (min)	QUA	Pitch (min)	QUI	Pitch (min)	SEX	Pitch (min)	SAB	Pitch (min)
Modelo J	84.000	177			84.000	177			84.000	177		
Modelo E	69.300	175			69.300	175	69.300	175			69.300	175
Modelo A	69.300	148			69.300	148			69.300	148		
Modelo C	63.000	135					63.000	135				
Modelo S											105.000	189
Modelo L									105.000	219		
Modelo M			105.000	219								
Modelo B											94.500	198
Modelo U			63.000	198								
Modelo D							52.500	114				
Modelo V			25.200	85								
CAPAC-REQ DIÁRIA (min)		635		502		500		424		544		562
TEMPO DISP. TOTAL (min)		1.215		1.215		1.215		1.215		1.215		900
SALDO (min)		580		713		715		791		671		338
CAPAC-REQ DIÁRIA (h)		10,6		8,4		8,3		7,1		9,1		9,4
% UTILIZAÇÃO CAPACIDADE		52%		41%		41%		35%		45%		62%
SETUP DIÁRIOS		4		3		3		3		3		3

**Tabela 4.11 - Plano nivelado de seis dias com os lotes de produção e os respectivos *Pitch* de produção para a máquina 2. Fonte: dados da empresa A.**

Depois de concluída a elaboração do plano nivelado, a equipe do projeto confirmou, com base nas **tabelas 4.10 e 4.11**, que a utilização da capacidade poderia ser reduzida mediante a redução dos lotes aos valores mínimos, representando valores até 35% da capacidade disponível em uma máquina, em um dado dia da semana, com apenas três preparações (*Set up*) por dia. Por essa razão, fez-se uma análise da utilização da capacidade, baseada nos valores teóricos utilizados na elaboração do plano nivelado. Essas informações foram compiladas conforme ilustrado na **tabela 4.12**:

PARÂMETRO	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	MÉDIA
Carga da Máquina 1 (horas)	9,6	8,3	11,1	9,4	10,3	10,9	<b>9,9</b>
Carga da Máquina 2 (horas)	10,6	8,4	8,3	7,1	9,1	9,4	<b>8,8</b>
Capacidade Requerida Total (horas)	20,2	16,7	19,4	16,5	19,4	20,3	<b>18,8</b>
Capacidade Disponível Total (horas)	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	30,0	<b>38,8</b>
% de Utilização da Capacidade	<b>50%</b>	<b>41%</b>	<b>48%</b>	<b>41%</b>	<b>48%</b>	<b>68%</b>	<b>49%</b>

**Tabela 4.12 – Análise da utilização da capacidade disponível em seis dias de produção e as respectivas capacidades requeridas para os itens TOP. Fonte: dados da empresa A.**

Os dados tabulados na **tabela 4.12** surpreenderam a equipe, pois, levando em consideração a superprodução por antecipação causada pela lógica de programação do *software*, horas extras eram necessárias para repor os estoques quando ocorriam picos de demanda. Por outro lado, evidenciou-se que a produção de 80% do volume semanal médio, seria necessário, em média, 50% da capacidade semanal. Isto é, teoricamente, existe a possibilidade de se produzir aproximadamente 80% da carga semanal em apenas uma única máquina.

Logo, duas evidências foram encontradas: o processo puxador poderá operar com capacidade ociosa, bastando manter a redução dos tamanhos dos lotes e o aumento da frequência de reposição propostos pelo método; além disso, caso não houvesse restrições de lotes mínimos, é razoável supor que haveria capacidade disponível para reduzir os ciclos de produção dos modelos de produtos.

Com base nessas considerações, discutiu-se a possibilidade de redução da jornada de trabalho, resultando na elaboração de um plano para redução dos turnos de produção, que será abordado ao final deste capítulo.

*Fato relevante: Ficou evidente que o valor teórico da utilização da capacidade para as máquinas indicava a possibilidade de operar com capacidade ociosa.*

Em suma, como será visto na etapa de verificação dos resultados, a equipe optou em, reduzir os turnos de trabalho de forma gradual, primeiramente operando uma máquina com três turnos diários, e a outra com dois. Para, em seguida, manter as duas máquinas operando com apenas dois turnos por dia.

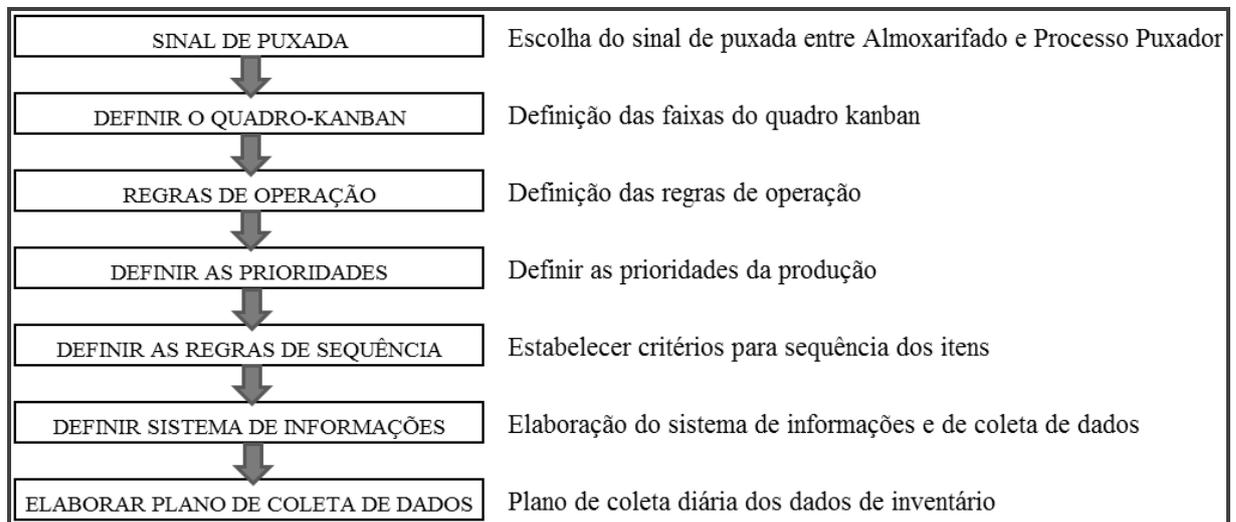
*Fato relevante: A equipe constatou a terceira melhoria no sistema de produção, uma vez que foi evidenciado haver a possibilidade de redução dos turnos de trabalho.*

Na etapa seguinte, a equipe definiu o plano de materiais ao recalcular o estoque a partir das equações de *Kanban*, bem como a estrutura do Sistema *Kanban* eletrônico.

#### d) *Definir o Sistema Kanban*

Esta atividade corresponde ao plano detalhado de materiais com base na equação de cálculo do Sistema *Kanban*. O líder da equipe do projeto optou pelo *Kanban* eletrônico, como forma

de simplificar o fluxo de informações nas atividades de controle da produção. Tais informações estão dispostas segundo o fluxo ilustrado na **figura 4.9**:



**Figura 4.9 – Fluxo de informações de definição do Sistema Kanban**

Para a produção *make-to-stock*, a primeira decisão da equipe do projeto consiste em determinar o tipo de sinal de puxada disparado a partir da retirada dos produtos acabados do almoxarifado para a entrega ao cliente. Esse sinal é representado pelo Sistema *Kanban*, que é composto por cinco decisões fundamentais: o tipo de Sistema *Kanban*, o meio de transmissão, método de cálculo e a frequência do fluxo de informações dos cartões e o tipo de retirada.

Em seguida, a equipe do projeto listou as alterações correspondentes ao método proposto, focalizando o processo puxador, de tal forma que as mudanças no fluxo de informações foram determinadas. Assim, inicialmente a equipe definiu que o novo método incluiria um sistema puxado com cartões físicos, de forma a sincronizar a retirada dos produtos no almoxarifado de produtos finais para a Expedição diária. No entanto, a equipe se deparou com vários problemas técnicos, que inviabilizaram a implantação de um Sistema *Kanban* com cartões.

A principal desvantagem observada pela equipe foi a quantidade de cartões necessários para os 22 itens TOP, baseando-se na unidade de venda de 250 peças por embalagem. Neste caso, seriam necessários cerca de 5.780 cartões. Como agravante, a utilização dos cartões requer contagem periódica dos mesmos de acordo com a alteração da carga mensal. Além disso, a transmissão das informações, desde o supermercado até o processo puxador representa um desperdício de tempo, dada a distância física entre o almoxarifado e o processo puxador, em

decorrência do tamanho da fábrica. Inclusive, a equipe desejava um sistema que fosse rápido de implantar e de manter, confiável, de baixo custo e facilmente replicável em outras peças de produção da empresa. O número total de cartões foi calculado para os 22 itens TOP, levando em conta a embalagem de venda com 250 peças, conforme a **tabela 4.15**:

PRODUTOS	LOTE MÍNIMO (PEÇAS)	NÚMERO CARTÕES POR LOTE	PRODUTOS	LOTE MÍNIMO (PEÇAS)	NÚMERO CARTÕES POR LOTE	NÚMERO TOTAL DE CARTÕES
Modelo T	63.000	252	Modelo J	84.000	336	
Modelo I	84.000	336	Modelo E	69.300	277	
Modelo K	46.200	185	Modelo A	69.300	277	
Modelo P	63.000	252	Modelo C	63.000	252	
Modelo O	54.600	218	Modelo S	105.000	420	
Modelo R	75.600	302	Modelo L	105.000	420	
Modelo Q	63.000	252	Modelo M	105.000	420	
Modelo F	31.500	126	Modelo B	94.500	378	
Modelo G	25.200	101	Modelo U	63.000	252	
Modelo N	75.600	302	Modelo D	52.500	210	
Modelo H	27.300	109	Modelo V	25.200	101	
		<b>2.436</b>			<b>3.343</b>	<b>5.779</b>

**Tabela 4. 13 – Número total de cartões para os lotes mínimos dos 22 itens TOP, considerando 250 peças por embalagem. Fonte: dados da empresa A.**

A partir da tabela **4.13**, e em virtude da quantidade de cartões requerida para os 22 itens TOP, a equipe decidiu que a melhor alternativa seria a aplicação de um Sistema *Kanban* eletrônico, o qual atenderia às exigências listadas anteriormente. Porém, a pedido da Gerência de Manufatura, o sistema eletrônico deveria ser provido de um meio de gestão visual que permitisse a comunicação rápida e inequívoca das necessidades de produção diária aos responsáveis pela produção que estivessem nas proximidades do processo puxador.

*Fato relevante: Foram introduzidos meios de gestão visual na programação do processo puxador.*

Por conseguinte, a solução encontrada pela equipe foi implantar um sistema híbrido, composto em parte por um sistema físico, com quadro-*Kanban*, cartões e caixa de nivelamento (*Heijunka Box*); e por um sistema eletrônico de coleta, transmissão e processamentos das informações geradas a partir das retiradas diárias dos produtos finais acabados.

Ao optar pelo *Kanban* eletrônico, a equipe definiu o tipo e o meio de transmissão das informações. Assim, o método de cálculo deve incluir a **equação 2.1** e os parâmetros correspondentes às três faixas, conforme modelo preconizado no capítulo 2. Para definir as faixas do quadro *Kanban*, ressalta-se que o Sistema *Kanban* é vinculado ao modelo de gestão de estoques Ponto de Ressuprimento, conforme explanado no capítulo 2. Logo, conforme explicado anteriormente, as faixas do quadro-*Kanban* são determinadas utilizando a equação **2.1** do **capítulo 2**:

$$N = \frac{DP}{NS \cdot A} + \frac{DD \cdot LT}{A} + \frac{DD \cdot EP}{A} \quad (2.1)$$

A partir equação 2.1, as faixas são determinadas com os seguintes limites:

- A faixa verde equivale aos primeiro termo do segundo membro
- A faixa amarela equivale ao segundo termo do segundo membro
- A faixa vermelha equivale ao terceiro termo do segundo membro.

Os parâmetros de cálculo são listados, conforme o capítulo 2, e em seguida, aplicando os parâmetros de *Lead time* (3 dias) e Estoque de Proteção (4 dias), a equipe calculou o estoque de produtos acabados para os itens TOP, que foi resumido na **tabela 4.14**:

PRODUTOS	PARÂMETROS DE CÁLCULO						VALORES DAS FAIXAS		
	DEMANDA MENSAL (PEÇAS)	DEMANDA MÉDIA DIÁRIA (PEÇAS/DIA)	NÚMERO DE SETUP REVISADO	LOTE MÍNIMO (PEÇAS)	LEAD TIME (DIAS)	PROTEÇÃO (DIAS)	LOTE	LEAD TIME	PROTEÇÃO
Modelo T	1.371.000	57.125	20	63.000	3	4	63.000	171.375	228.500
Modelo I	832.000	34.667	12	84.000	3	4	84.000	104.000	138.667
Modelo K	862.000	35.917	16	46.200	3	4	46.200	107.750	143.667
Modelo P	737.000	30.708	12	63.000	3	4	63.000	92.125	122.833
Modelo O	630.000	26.250	12	54.600	3	4	54.600	78.750	105.000
Modelo R	603.000	25.125	8	75.600	3	4	75.600	75.375	100.500
Modelo Q	523.000	21.792	8	63.000	3	4	63.000	65.375	87.167
Modelo F	377.000	15.708	12	10.500	3	4	10.500	47.125	62.833
Modelo G	346.000	14.417	12	25.200	3	4	25.200	43.250	57.667
Modelo N	260.000	10.833	4	75.600	3	4	75.600	32.500	43.333
Modelo H	276.000	11.500	8	27.300	3	4	27.300	34.500	46.000

**Tabela 4.14 – Tabulação dos parâmetros de cálculo das faixas do *Kanban* para os modelos de produtos da máquina 1. Fonte: dados da empresa A.**

Teoricamente, conforme explicado no capítulo 2 e 3, o *lead time* representa o *Pitch* acrescido do tempo de espera. Na prática, este valor não poderia ser maior que 24 horas, visto que a produção deve ser realizada o mais rápido possível. Porém, a pedido da equipe optou-se em manter o *lead time* com o valor praticado no estado original igual a três dias, como segurança adicional. Logo, sugeriu-se que este parâmetro seja gradualmente reduzido mediante o acompanhamento dos resultados do projeto. Os cálculos foram repetidos para a máquina 2, conforme a **tabela 4.15**:

PRODUTOS	PARÂMETROS DE CÁLCULO						VALORES DAS FAIXAS		
	DEMANDA MENSAL (PEÇAS)	DEMANDA MÉDIA DIÁRIA (PEÇAS/DIA)	NÚMERO DE SETUP REVISADO	LOTE MÍNIMO (PEÇAS)	LEAD TIME (DIAS)	PROTEÇÃO (DIAS)	LOTE	LEAD TIME	PROTEÇÃO
Modelo E	1.043.000	43.458	16	69.300	3	4	69.300	130.375	173.833
Modelo J	1.000.000	41.667	12	84.000	3	4	84.000	125.000	166.667
Modelo A	739.000	30.792	12	69.300	3	4	69.300	92.375	123.167
Modelo C	556.000	23.167	8	63.000	3	4	63.000	69.500	92.667
Modelo L	484.000	20.167	4	105.000	3	4	105.000	60.500	80.667
Modelo S	469.000	19.542	4	105.000	3	4	105.000	58.625	78.167
Modelo B	394.000	16.417	4	94.500	3	4	94.500	49.250	65.667
Modelo M	386.000	16.083	4	105.000	3	4	105.000	48.250	64.333
Modelo U	250.000	10.417	4	63.000	3	4	63.000	31.250	41.667
Modelo D	208.000	8.667	4	52.500	3	4	52.500	26.000	34.667
Modelo V	70.000	2.917	4	25.200	3	4	25.200	8.750	11.667

**Tabela 4.15 - Tabulação dos parâmetros de cálculo das faixas do *Kanban* para os modelos de produtos da máquina 2. Fonte: dados da empresa A.**

Em seguida, levando em consideração que o Sistema *Kanban* deve ter uma frequência de transmissão e coleta de dados preestabelecida de forma a padronizar o fluxo de informações de programação diária, optou-se por coletas diárias, no início do primeiro turno de trabalho, às 07h00min da manhã. Dessa forma, com base na alternativa proposta, o fluxo original de informações foi alterado, passando a incluir a conversão das informações eletrônicas obtidas no sistema de dados em uma leitura física da carga diária visualizada em um quadro-*Kanban*. Em seguida, os cartões são posicionados na caixa de nivelamento na seqüência desejada, dando início à reposição do estoque.

As regras de operação do Sistema *Kanban* incluem as decisões sobre as prioridades e os critérios de seqüenciamento diário dos modelos de produtos, definidos pelo líder da equipe de acordo com os preceitos listados no capítulo 3. Logo, quando dois ou mais itens estiverem na região vermelha, terão prioridade os itens que estiverem com “janelas de tempo” no referido

dia de programação. As regras de sequenciamento são conhecidas pelos operadores, que priorizam as espessuras de chapa, da maior para a menor, gerando economias com as operações de estampagem.

Finalmente, uma vez que se considerou a aplicação do *Kanban* eletrônico, foi necessário estabelecer o sistema de informações, incluindo os equipamentos e a lógica de funcionamento. Por exemplo, os produtos finais acabados são identificados com códigos de barras que são lidos a cada retirada do almoxarifado, retroalimentando o banco de dados do MRP, sem a necessidade de transmissão física de cartões deste ao processo puxador. Isso faz com que o sistema de coleta de dados seja realizado em tempo real (*on-line*) utilizando leitores de códigos de barras e registros de estoque, a cada retirada e envio de produtos à área de Expedição.

A lógica de funcionamento do *Kanban* eletrônico baseia-se na comparação da leitura do estoque diário, uma vez ao dia, e comparação deste valor aos limites do quadro-*Kanban* eletrônico. Neste caso, as decisões são explicadas:

- Se o estoque diário for menor que o limite de proteção, então a situação do estoque é sinalizada como “vermelha”.
- Se o estoque estiver entre os limites do ponto de ressurgimento e o limite de proteção, o a situação do estoque é indicada por “amarela”;
- Se o estoque estiver acima do limite do ponto de ressurgimento, a situação do estoque é “verde”.

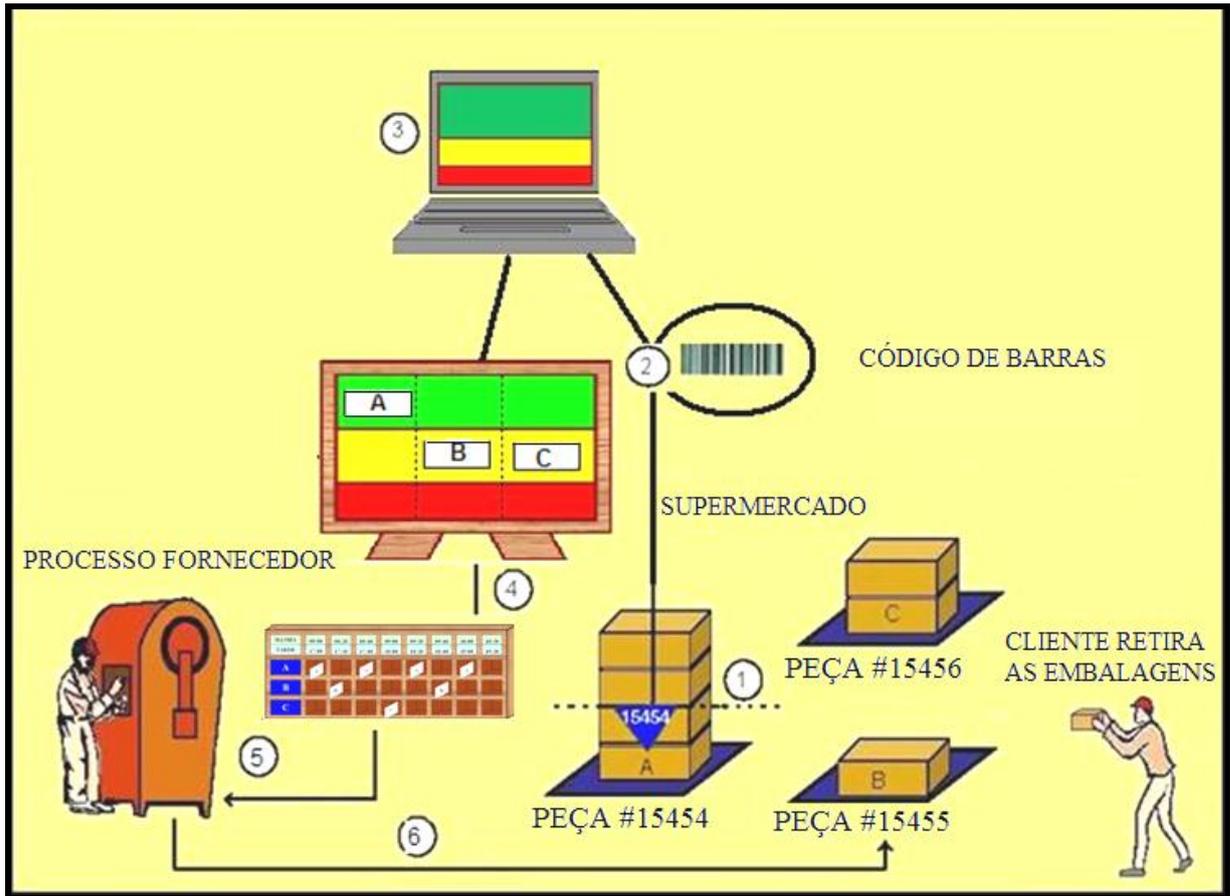
Com base nessas regras, a equipe desenvolveu uma planilha eletrônica que coleta o estoque na data atual via intercâmbio eletrônico de dados diretamente da base de registros de estoque do MRP. Em seguida, o compara aos limites do quadro-*Kanban* eletrônico. Tal solução desenvolvida na empresa A, está graficamente representada com base na **tabela 4.16**:

PRODUTOS (TOP)	ESTOQUE NA DATA ATUAL (PEÇAS)	VALORES DAS FAIXAS			LIMITES DO GRÁFICO KANBAN			SITUAÇÃO DO ESTOQUE NA DATA ATUAL
		LOTE	LEAD TIME	PROTEÇÃO	LOTE	LEAD TIME	PROTEÇÃO	
Modelo T	325.000	63.000	171.375	228.500	462.875	399.875	228.500	AMARELA
Modelo I	250.000	84.000	104.000	138.667	326.667	242.667	138.667	VERDE
Modelo K	116.200	46.200	107.750	143.667	297.617	251.417	143.667	VERMELHA
Modelo P	225.000	63.000	92.125	122.833	277.958	214.958	122.833	VERDE
Modelo O	109.800	54.600	78.750	105.000	238.350	183.750	105.000	AMARELA
Modelo R	180.000	75.600	75.375	100.500	251.475	175.875	100.500	VERDE
Modelo Q	100.000	63.000	65.375	87.167	215.542	152.542	87.167	AMARELA
Modelo F	60.000	10.500	47.125	62.833	120.458	109.958	62.833	VERMELHA
Modelo G	76.800	25.200	43.250	57.667	126.117	100.917	57.667	AMARELA
Modelo N	92.400	75.600	32.500	43.333	151.433	75.833	43.333	VERDE
Modelo H	59.000	27.300	34.500	46.000	107.800	80.500	46.000	AMARELA

**Tabela 4.16 - Planilha para coleta diária dos dados de estoque e comparação aos limites do Kanban eletrônico para a máquina 1. Fonte: dados da empresa A.**

Por exemplo, para o modelo T, na **tabela 4.15**, o estoque lido no dia da programação (“data atual”) é igual a 325.000 peças. Logo, comparando este valor aos limites do gráfico do estoque, verifica-se que aquele valor se encontra entre as regiões amarela e vermelha, isto é, o referido item “atingiu o ponto de ressuprimento”.

Por essa razão, convencionou-se que a situação do estoque equivale ao “sinal de puxada” do supermercado da Expedição para a entrega aos clientes diretos. Esta informação é utilizada na atividade seguinte. Logo, a lógica de operação do Sistema *Kanban* eletrônico definido pela equipe de projeto da empresa obedece ao modelo de *Kanban* de sinalização (triangular), uma vez que há apenas um cartão para disparar a produção de um lote completo. Tal sistema, que integra o *Kanban* eletrônico, com a gestão visual, é representado de acordo com a **figura 4.10**:



**Figura 4. 10 – Sistema Kanban híbrido “triangular-eletrônico-gestão visual” desenvolvido pela equipe do projeto. Fonte: elaborado pelo autor.**

De acordo com a **figura 4.10**, o movimentador de materiais da Expedição (cliente) retira as embalagens (1), realiza a leitura do código de barras dos produtos (2), sendo que esta ação gera uma atualização nos registros de estoque no banco de dados do MRP (3). Diariamente, o coordenador da produção, ou outra pessoa por ele designado, realiza a leitura do Kanban eletrônico, que irá gerar a situação de estoque de cada item, sendo convertida em cartões físicos no quadro-Kanban (4). Em seguida, de acordo com o Ponto de Ressuprimento, os cartões são postados no quadro de nivelamento da produção (*Heijunka Box*) para sequenciar a produção diária (5). O processo puxador irá repor um lote completo dos respectivos produtos (6).

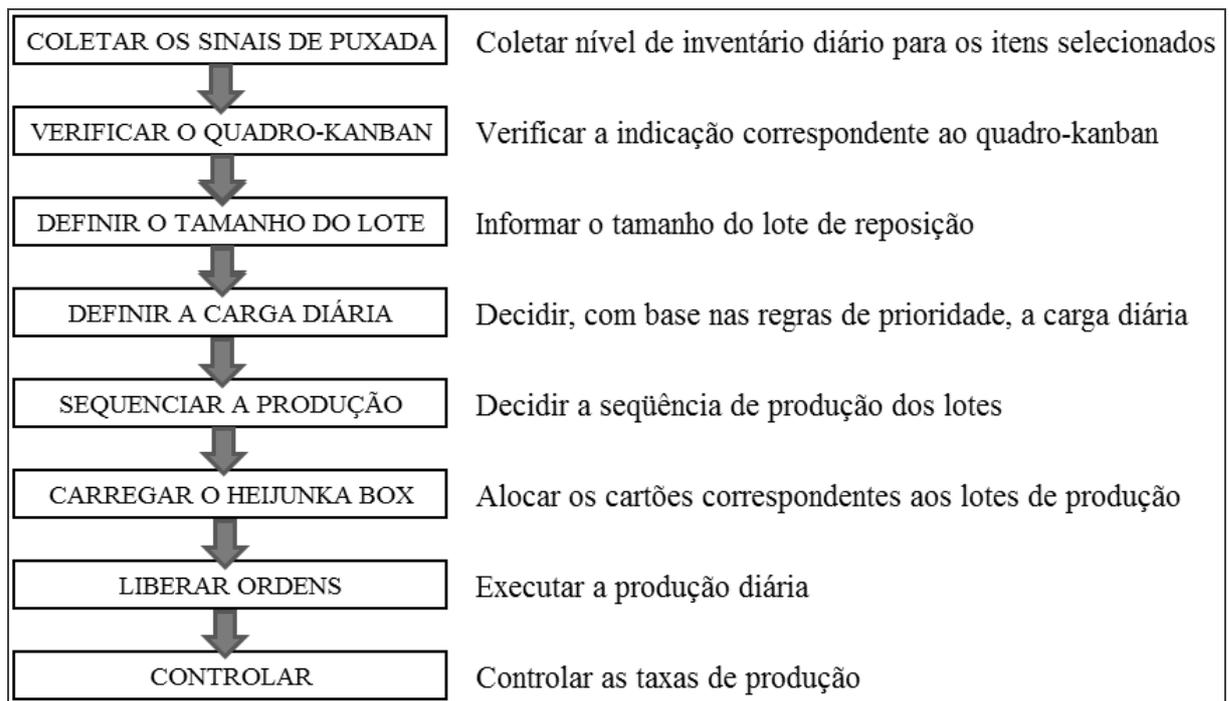
e) *Definir as regras de operação da Produção Nivelada*

Finalmente, busca-se a operacionalização da Produção Nivelada. Para tal, o fluxo de informações foi estabelecido, desde o sinal de puxada até a disponibilização do material ao almoxarifado. O fluxo se inicia a partir da coleta das informações do inventário (registros de estoque),

a partir da leitura dos códigos de barra das embalagens dos produtos finais acabados, mediante a retirada destes para a Expedição.

Em suma, fluxo de informações apresentado e detalhado nesta atividade integra as cinco atividades de controle da produção: Carregamento, Seqüenciamento, Programação, Liberação e Controle, apresentados previamente no capítulo 3.

A seqüência básica de informações é graficamente ilustrada com base na **figura 4.11**:



**Figura 4. 11 – Fluxo de informações das regras de operação do sistema e as cinco atividades de controle da produção. Fonte: elaborado pelo autor.**

Os dados de estoque diário poderão ser acessados em tempo real a partir de um terminal de micro-computador disponível na unidade de produção do fluxo de valor. No que tange ao tamanho do lote, como regra normal, este deve ser fixo para os produtos disparados na região amarela. Porém, caberá ao responsável pela programação diária decidir, em situações de emergência, se um determinado modelo de produto poderá ser produzido em quantidades maiores que a padrão, a fim de repor o estoque de proteção ou para atender pedidos especiais de volume maior.

A carga diária será definida com a soma dos cartões nas regiões amarela e vermelha, devendo ser limitada à capacidade disponível existente. A partir das regras de prioridade, o Supervisor de Produção – ou outra pessoa responsável pela programação diária – ficará encarregado pela decisão acerca da necessidade de fazer horas extras para atender a carga diária demandada. Esta representa o princípio da autonomia do chão-de-fábrica que descentraliza parte das decisões de produção.

Em seguida, o responsável pela produção deve decidir a melhor sequência de produção dos itens, com vistas a maximizar a utilização da capacidade disponível. Estas decisões podem ser baseadas em regras simples e executadas de forma manual.

Depois de definir a carga diária, a leitura eletrônica da situação do estoque deve ser convertida em gestão visual, a pedido da Gerência de Manufatura. Este sistema consiste em utilizar um quadro *Kanban* físico para representar a posição do estoque, cujos cartões correspondentes à carga diária serão alocados na caixa de nivelamento (*Heijunka Box*) para programar a produção.

Isto ocorre pelo fato do tamanho de lote ser fixo, assim, com base em uma gestão visual, é possível saber com antecedência, o horário exato no qual os modelos de produtos serão produzidos. Em seguida, os operadores devem executar a produção diária com base na carga, nas prioridades, na sequência definidas, removendo os *Kanban* da caixa de nivelamento após a conclusão da fabricação do lote preestabelecido.

Finalmente, o responsável pela produção deverá controlar as taxas de produção, de modo a garantir que a carga diária seja produzida integralmente. Vale ressaltar que a equipe concordou que os fluxos de informações propostos com o novo método são mais simples, uma vez que apresentam regras claras de operação.

*Fato relevante: O fluxo de informações proposto com base no método proposto foi considerado mais simples por apresentar regras claras.*

Elaborou-se um plano de coleta de dados, o “quadro de controle horário da produção”, de forma a controlar a produção com base no intervalo *Pitch* igual a uma hora. Este quadro pode ser visualizado na **figura 4.12**:

EQUIPAMENTO / PROCESSO ESTAMPAGEM _____							MÊS _____	
CARGA TOTAL DIÁRIA _____				PEÇAS _____		DATA _____		
INCREMENTO PITCH <u>1</u>				HORA _____		LÍDER _____		
HORÁRIO		PRODUTO	CARGA HORÁRIA		CARGA ACUMULADA		SOLUÇÃO DE PROBLEMAS	RESPONSÁVEL
INÍCIO	TÉRMINO	CÓDIGO	PROG.	REAL.	PROG.	REAL.	CAUSAS / AÇÕES	SUPERVISOR
22:00	23:00							
23:00	00:00							
00:00	01:00							
01:00	02:00							
02:00	03:00							
03:00	04:00							
04:00	05:00							

**Figura 4. 12 - Detalhe do Quadro de Controle Horário da Produção utilizado para o controle da produção diária por meio do intervalo *Pitch* de uma hora. Fonte: dados da empresa A.**

Caso haja interrupções na produção, os desvios devem ser anotados, categorizados segundo os critérios: máquina, mão-de-obra, materiais e método. Em seguida, uma análise de causa-raiz deverá ser imediatamente conduzida para que os problemas sejam definitivamente eliminados. Para isto, o controle da produção poderá ser uma ferramenta bastante útil que complementa a gestão visual no chão-de-fábrica.

#### 4.8. EXECUÇÃO DO PLANO

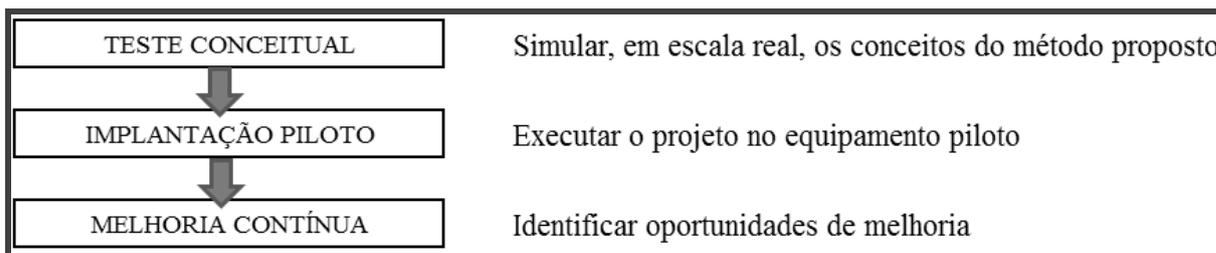
Esta fase consiste na implantação da Produção Nivelada, e consiste em duas etapas indicadas de acordo com o **quadro 4.1**.

##### 4.8.1. Treinamento

Utilizando técnicas de treinamento no local de trabalho definidas como política de treinamento da empresa, garantiu-se que os membros da equipe compreenderam e concordaram com as mudanças propostas. Finalmente, a equipe preparou a estrutura necessária para a realização da fase posterior.

#### 4.8.2. Execução do projeto piloto

Com base no plano e no cronograma, durante a ação, a equipe verificou e registrou todas as ações e os resultados bons e ruins gerados durante a execução do projeto piloto. O fluxo de informações considerado está ilustrado na **figura 4.13**:



**Figura 4. 13 – Etapas do seminário elaborado pela equipe para a implantação do projeto piloto. Fonte: dados da empresa A.**

Essas etapas estão detalhadas nas atividades seguintes:

a) Teste conceitual;

Nesta fase, com duração de uma semana, a equipe utilizou uma infra-estrutura provisória, a qual estaria sujeita a correções e melhorias na fase final do seminário. O teste conceitual consistiu em quatro tarefas, descritas:

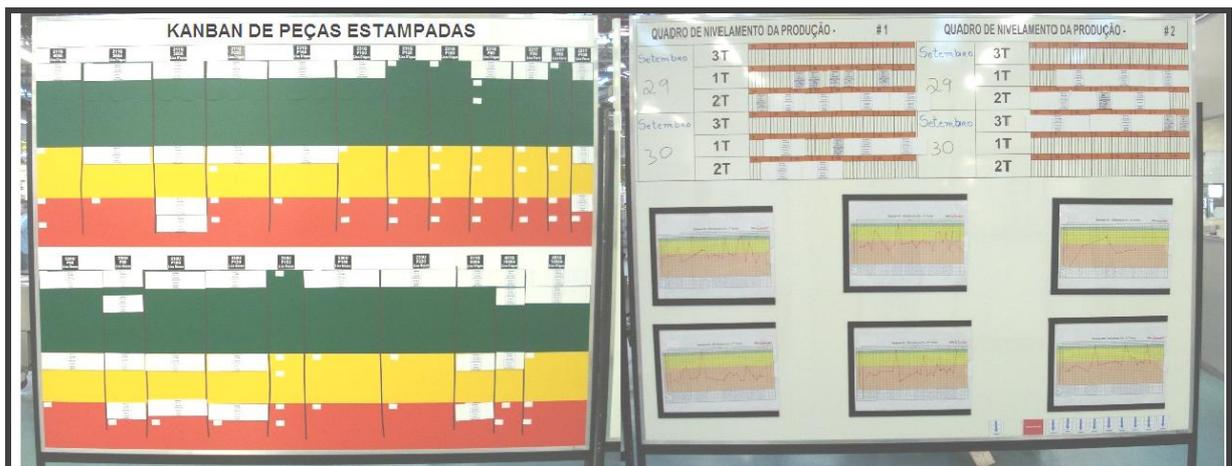
- i. Preparação do local ou sala reservada para a simulação
- ii. Aquisição da infra-estrutura provisória
- iii. Treinamento nas regras de operação
- iv. Simulação real

O teste conceitual realizado pela equipe do projeto utilizou a simulação real, na qual a programação diária foi realizada no escritório com base nos dados de estoques e nas regras preestabelecidas. Feito isso, foi possível comparar as decisões de programação diária entre o *software* existente e o método proposto.

b) Implantação piloto;

Depois de confirmar que tanto os conceitos como as regras de operação foram bem compreendidos, a equipe de implantação executou o projeto piloto após a decisão final do líder do projeto. O novo sistema foi operacionalizado com o acompanhamento diário da equipe, de modo a verificar se os critérios preestabelecidos serão obedecidos.

A equipe controlou a execução do programa diário de produção com vistas a registrar os desvios que pudessem dificultar a realização do mesmo, como, por exemplo, falta de materiais, quebra de máquinas, absenteísmo, entre outros. A partir de então, a equipe pôde gerar um histórico com os problemas ocorridos durante a produção para posterior análise de causa raiz. Logo, a equipe terá a disposição um banco de dados com informações que servirão de referência aos outros projetos similares. Os quadros provisórios utilizados na implantação piloto estão representados na **figura 4.14**:



**Figura 4. 14 – Quadro Kanban, gráficos de estoque e o quadro de nivelamento provisórios utilizados na implantação do projeto piloto. Fonte: Dados da empresa A.**

*Fato relevante: Foram introduzidos elementos de gestão visual, como o quadro de controle horário da produção, o quadro Kanban e a caixa de nivelamento da produção.*

#### 4.8.3. Melhoria contínua

A equipe identificou oportunidades de melhoria durante a execução do projeto piloto, as quais incluem um projeto para a modificação do quadro de nivelamento da produção. A condição proposta atende aos requisitos de melhoria na organização das informações por meio da redu-

ção das dimensões iniciais e na e alteração do leiaute do quadro. Além dessas melhorias importantes, a equipe identificou oportunidade de melhoria nos seguintes tópicos:

1. Revisão das práticas de logística de produção, incluindo um Sistema *Kanban* para puxar os insumos e materiais de produção, tais como embalagens, rótulos, etiquetas adesivas, com vistas a reduzir o estoque armazenado próximo aos equipamentos,
2. Foram identificadas as necessidades de treinamento da equipe as quais incluem a revisão dos conceitos fundamentais, a identificação de resistências e as dificuldades na execução do projeto piloto,
3. Identificação da capacidade ociosa após a elaboração do plano nivelado. Percebeu-se que cada máquina pode processar 50% da carga diária, em média. Tal evidência culminou na elaboração do plano de redução dos turnos de trabalho, conforme a **tabela 4.17**:

PARÂMETRO	MÊS 1	MÊS 2	MÊS 3	MÊS 4	MÊS 5
Turnos de Trabalho da Máquina 1	3	3	3	3	2
Turnos de Trabalho da Máquina 2	3	3	3	2	2
Capacidade Disponível Total (horas)	40,50	40,50	40,50	33,75	27,00
<b>Redução em relação ao mês 1</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>17%</b>	<b>33%</b>

**Tabela 4.17 – Plano de redução dos turnos de trabalho, de três para dois, de segunda a sábado. Fonte: dados da empresa A.**

A equipe irá avaliar, após três meses de aplicação do projeto, a possibilidade de reduzir turnos de trabalho gradualmente, passando dos atuais três turnos, de segunda a sábado, no estado atual, até chegar a dois turnos, de segunda a sábado. É digno de nota que este plano permite uma redução máxima de 33% da capacidade disponível, para o mesmo nível de demanda do estado atual. Outras possibilidades serão estudadas, como, por exemplo, manter três turnos de segunda a sexta, levando em conta análises de custo-benefício.

4. Foi identificada a necessidade de revisar o cálculo do Sistema *Kanban*, uma vez que a empresa é composta por fluxos de valor com aplicações diversas, tais como processos de injeção, estampagem de peças metálicas, tratamento térmico, entre outros.

5. Utilização de sistema puxado baseado na reposição do supermercado, com lotes de tamanhos fixos, visando eliminar a superprodução de produtos finais acabados.
6. Identificação de ganhos com aumento da produtividade de até 33%, decorrente do item anterior, uma vez que o volume de produção do estado atual poderá ser atendido em um período de tempo menor em relação ao atual.
7. Identificação de critérios para a revisão do *lead time* e da política de estoques de proteção, como meio de reduzir gradualmente os níveis de estoque planejados, que pôde ser operacionalizado por meio do acompanhamento visual dos gráficos de estoques. Na prática, este plano consiste em reduzir os valores dos parâmetros de cálculo do *Kanban* gradualmente, em um horizonte de cinco meses, conforme a **tabela 4.18**:

PARÂMETRO	MÊS 1	MÊS 2	MÊS 3	MÊS 4	MÊS 5
<i>Lead time</i> (dias)	3	2	1	1	1
Proteção (dias)	4	4	4	3	2
<b>Redução em relação ao mês 1</b>	<b>0%</b>	<b>14%</b>	<b>29%</b>	<b>43%</b>	<b>57%</b>

**Tabela 4. 18 - Plano de redução dos valores dos parâmetros de cálculo do *Kanban* para o processo puxador. Fonte: dados da empresa A.**

Com base no monitoramento dos gráficos de estoque, será possível identificar, para cada item em particular, quais são os valores de estoque proteção e *lead time* requeridos em função do padrão da demanda externa. Entretanto, é válido ressaltar que esta proposta de redução pode não ser plenamente viável para os modelos, dada a concentração de pedidos em períodos específicos do mês. Logo, a equipe deve realizar uma análise caso a caso.

*Fato relevante: O método proposto orientou as ações de melhoria contínua voltadas para a redução dos estoques, aumento da produtividade, entre outras.*

Em suma, as modificações propostas provocaram apenas efeitos positivos no que tange às diferenças entre os métodos de PCP, antes e depois, as quais foram compiladas no **quadro 4.4**:

**Quadro 4.4 – Comparativo das características dos métodos de PCP, antes e depois do projeto piloto para o fluxo de valor estudado.**

<b>Elemento</b>	<b>Antes</b>	<b>Depois</b>
Programação da produção	100% dos itens através do <i>software</i>	22 itens top no método novo 108 itens restantes pelo <i>software</i>
Gestão visual	Não existente	Quadro <i>Kanban</i> , controle horário da produção e quadro heijunka
Nível de estoque	Acima dos limites planejados	Dentro dos limites planejados
Tamanho do lote	Variável	Fixo e reduzido ao lote mínimo
Flexibilidade do mix	Baixa (poucos itens por semana)	Alta (muitos itens por semana)
Estoque de proteção	Mesmo critério para os itens	Deve ser caso a caso e reduzido gradualmente
Horizonte da demanda	<i>Software</i> , horizonte de sete dias	MRP, horizonte diário

Fonte: elaborado pelo autor.

Tais fatores podem ser analisados no que tange às práticas básicas de trabalho da Manufatura Enxuta, listadas no capítulo 2. Vale destacar que o coordenador da produção solicitou que os operadores e abastecedores de materiais pudessem ser treinados no novo método, de forma a descentralizar a responsabilidade da programação diária. Isto foi motivado uma vez que os fluxos de informações tornaram-se claros, bem como as regras de operação do sistema foram definidas de forma objetiva. Com isso, a equipe ganhou em comprometimento e proatividade, uma vez que muitos operadores passaram a compreender os critérios para a definição da carga diária por meio da gestão visual atualmente instalada. Verificou-se ainda que a produção tornou-se mais estável e previsível, uma vez que se eliminou a superprodução.

*Fato relevante: O fluxo de informações proposto com base no método proposto foi considerado mais simples por apresentar regras claras e padronizadas.*

*Fato relevante: O método proporcionou aumento da autonomia no chão-de-fábrica.*

Além das diferenças previamente apontadas, diversas alterações foram realizadas no chão-de-fábrica, todas inerentes ao método desenvolvido, incluindo a aplicação do controle das taxas

de produção por meio do quadro de controle horário da produção e incremento *Pitch* de uma hora; a utilização de lotes de tamanho fixo como regra geral de operação; o Sistema *Kanban* eletrônico mais efetivo, entre outras.

Finalmente, conforme será visto no capítulo 5, os resultados tangíveis do projeto apontam uma melhoria no desempenho, além da adequação dos princípios e políticas da produção nivelada.

#### 4.9. COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO 4

Este capítulo apresentou a aplicação do método proposto, atingindo mais um objetivo específico definido no capítulo 1. Dando prosseguimento, as 17 etapas de apresentação do estudo de caso foram explanadas, desde o estado original, no qual as características principais da empresa foram apresentadas, bem como o seu histórico de melhorias nas práticas de PCP, incluindo o estado futuro, após a aplicação do método.

Inicialmente, verificou-se que os gestores da empresa iniciaram a implantação das práticas da Manufatura Enxuta, incluindo mudanças em layout, padronização do trabalho, entre outras. Porém, evidenciou-se, na primeira parte do estudo de caso, que não havia uma compressão dos conceitos da Produção Nivelada, fato que acarretou uma série de adaptações no Sistema *Kanban*. Dentre elas, a produção sem gestão visual, com lotes de produção variáveis e processo puxador programado com base em uma carteira de pedidos de uma semana.

Evidenciou-se, ainda no estado original, que as práticas de PCP da empresa não atendiam aos princípios da Produção Nivelada. Como agravante, a empresa não aderiu plenamente ao princípio da eliminação dos desperdícios, uma vez que a empresa levou cerca de cinco anos para detectar a ocorrência de superprodução, o que culminou na aplicação do método proposto.

O método foi aplicado em um fluxo de valor com operações de fabricação, com cerca de 130 produtos pertencentes a sete famílias, sendo que apenas vinte e dois modelos de produtos foram priorizados, correspondentes a 80% da demanda mensal média. Em seguida, a equipe estabeleceu os lotes de produção de tamanho fixo, e verificou que, caso as restrições técnicas não existissem, seria possível reduzir significativamente o tamanho dos lotes de produção.

Constatou-se, inclusive, que o padrão de demanda não fora suficientemente instável para inviabilizar a implantação do método. Por essa razão, é razoável afirmar que deva ser contestada a

afirmação dos autores pesquisados sobre a impossibilidade de aplicar a Produção Nivelada em ambientes de demanda externa instável, das quais se excluem as cadeias automotivas. Por essa razão, este caso estudado servirá como referência para uma discussão mais ampla em pesquisas posteriores.

Constatou-se que o método direcionou várias ações de melhoria, permitindo o conhecimento da capacidade disponível, além de quantificar o número máximo de *Set up* diário e a melhor distribuição dos lotes de produção ao longo de um intervalo. Logo, é inquestionável que, por mais que a decisão encontrada de produzir os lotes mínimos pareça óbvia, segundo os conceitos básicos da Manufatura Enxuta, não se deve considerar que o método proposto tenha sido desnecessário, uma vez que muitas melhorias foram realizadas em decorrência dos seus elementos e conceitos.

Ainda no que tange ao método de cálculo do plano nivelado, caso o fluxo de valor não apresentasse restrições quanto ao tamanho do lote mínimo, evidenciou-se que o método proposto por Liker & Meier (2007) resultaria em uma solução viável, mediante a definição de ciclos diários, a cada dois dias e a cada quatro dias. Logo, as restrições requereram um ajuste manual, confirmando que o método serve apenas como uma referência. Por essa razão, é razoável afirmar que o método proposto apresenta-se como uma alternativa genérica para sistemas de fabricação, com ou sem restrições de tamanho de lotes.

O método mostrou-se satisfatório, uma vez que organiza os elementos da Produção Nivelada, orientados segundo um ciclo PDCA básico, com as características de simplicidade e clareza. Soma-se a isso o fato de que a implantação ocorreu mediante treinamento e teste da nova metodologia em sala de aula. E, inclusive, o método mostrou-se uma contribuição importante à empresa pesquisada, uma vez que orientou as ações de melhoria, criando regras claras para alterar as práticas de PCP, indicadores desempenho simples e critérios de planejamento e cálculo coerentes ao conceito da Produção Nivelada.

Finalmente, dando continuidade à pesquisa de campo, conforme indicado no **quadro 4.3**, o capítulo seguinte apresenta os resultados das análises do desempenho a partir dos indicadores de desempenho, dos princípios e às políticas da Produção Nivelada e da comparação das características do caso estudado ao exemplo teórico do método de Smalley.

## CAPÍTULO 5

### 5. VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO

Este capítulo se inicia com a avaliação de desempenho antes e depois da aplicação do método. Proposto. Por isso, em continuidade às etapas apresentadas no **quadro 3.2**, a verificação dos resultados está resumida de acordo com o **quadro 5.1**:

**Quadro 5.1 – Resumo da etapa de Verificação.**

PDCA	ETAPA	ATIVIDADES
<b>C</b>	Verificação	a) Comparação dos Indicadores de desempenho b) Princípios e políticas da Produção Nivelada c) Comparação ao método de Smalley
	(O método foi efetivo?)	d) Diagnóstico do Estado Futuro

Fonte: **quadro 3.2**.

Com base nas informações apresentadas, as atividades estão detalhadas:

#### 5.1. COMPARAÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO

A equipe coletou os indicadores de desempenho escolhidos para a pesquisa, e foram então tabulados de acordo com a **tabela 5.1**:

INDICADOR DE DESEMPENHO (TOP)	PERÍODO ANTERIOR				PERÍODO POSTERIOR				VARIÇÃO (%)
	out/07	nov/07	dez/07	MÉDIA	mar/08	abr/08	mai/08	MÉDIA	
DEMANDA MENSAL TOP (MILHÕES DE PEÇAS)	11,086	11,702	11,883	11,5571	13,357	9,914	10,617	11,2959	-2%
ESTOQUE PLANEJADO TOP (MILHÕES DE PEÇAS)	4,447	4,694	3,991	4,3774	5,196	5,289	5,923	5,4691	25%
ESTOQUE REAL TOP (MILHÕES DE PEÇAS)	5,118	3,868	3,925	4,3035	3,368	3,421	3,195	3,3282	-23%
ESTOQUE REAL TOP (DIAS)	14,1	9,3	9,9	11,10	8,4	8,4	8,7	8,50	-23%
TAMANHO DO LOTE MÉDIO TOP (MILHARES DE PEÇAS)	72.207	70.008	73.087	71.767	57.626	66.962	51.710	58.766	-18%
NÚMERO DE SET UP TOP (SETUP/MÊS)	173	158	168	166,3	200	178	171	183,0	10%
NÍVEL DE SERVIÇO TOP (%)	99,6	99,1	98,9	99,20	98,0	98,4	99,0	98,47	-1%

**Tabela 5.1 – Dados de desempenho antes e depois do projeto piloto para os itens TOP do fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A.**

Com base nos valores apresentados na figura, a equipe verificou que o estoque planejado sofreu um acréscimo de 25% em relação ao período anterior em decorrência da calibração da demanda baseada em demanda prevista para um cenário otimista de aumento das vendas. Por outro lado, o estoque realizado – expresso em dias e em peças – foi reduzido em 23% em relação ao período anterior ao projeto piloto. O número mensal de preparações sofreu acréscimo de apenas 10%. Finalmente, o Nível de Serviço sofreu uma redução de 1% em relação ao período anterior ao projeto.

Em suma, estes números corroboram que o aumento da flexibilidade (número de *Set up* por mês) reduziu os estoques e aumentou a rapidez (reduziu o estoque em dias) do sistema de produção, sem alterar o Nível de Serviço (Confiabilidade). Tal mudança ocorreu com uma queda pouco significativa da demanda em 2%, e, inclusive, é prudente inferir que o desempenho poderia ter sido maior caso o tamanho dos lotes fosse reduzido significativamente.

Analogamente, os dados para os itens NTOP foram tabulados conforme a **tabela 5.2**:

INDICADOR DE DESEMPENHO (NTOP)	PERÍODO ANTERIOR				PERÍODO POSTERIOR				VARIÇÃO (%)
	out/07	nov/07	dez/07	MÉDIA	mar/08	abr/08	mai/08	MÉDIA	
DEMANDA MENSAL NTOP (MILHÕES DE PEÇAS)	3,111	2,902	2,655	<b>2,8893</b>	3,145	2,764	2,525	<b>2,8114</b>	-3%
ESTOQUE REAL NTOP (MILHÕES DE PEÇAS)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ESTOQUE REAL NTOP (DIAS)	18,2	14,7	17,3	<b>16,73</b>	16,7	17,1	11,2	<b>15,00</b>	-10%
TAMANHO DO LOTE MÉDIO NTOP (MILHARES DE PEÇAS)	25.450	29.819	29.473	<b>28.247</b>	30.931	31.862	24.799	<b>29.197</b>	3%
NÚMERO DE SET UP NTOP (SETUP/MÊS)	128	87	100	<b>105</b>	110	104	98	<b>104</b>	-1%
NÍVEL DE SERVIÇO NTOP (%)	98,2	93,5	97,5	<b>96,40</b>	96,8	94,8	99,4	<b>97,00</b>	1%

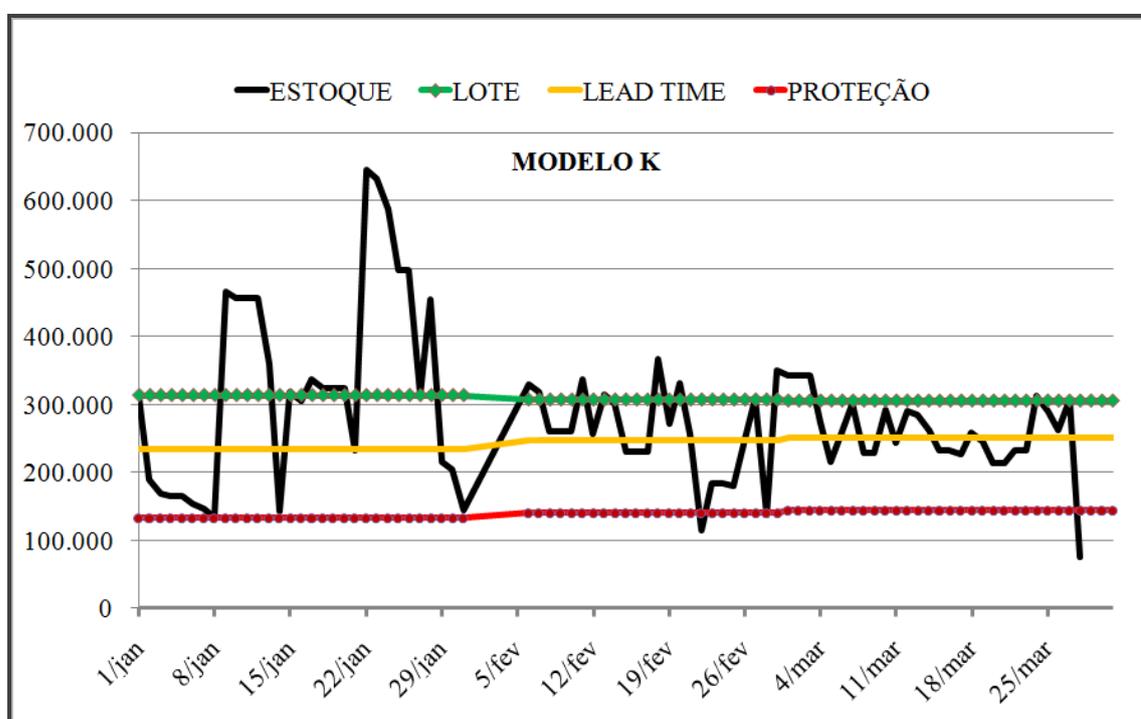
**Tabela 5. 2 – Dados de desempenho antes e depois do projeto piloto para os itens NTOP do fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A.**

De acordo com a figura, o estoque dos itens NTOP foi reduzido em 10%, ao passo que o tamanho do lote foi aumentado apenas 3% e o número de *Set up* reduzido em apenas 1%. O Nível de Serviço, como esperado, sofreu uma redução pouco relevante de 1%. Logo, os indicadores dos itens NTOP confirmam que o método contribuiu para a redução do estoque, sem alterar significativamente a flexibilidade e o Nível de Serviço destes itens.

### 5.1.1. Análise gráfica das médias e tendências

Os resultados foram analisados graficamente com base nas médias mensais dos indicadores de desempenho bem como a tendência de variação, incluindo o padrão crescente, decrescente e estável.

Inicialmente, optou-se em traçar os gráficos do estoque diário de um grupo de produtos, confrontando-os aos limites planejados do quadro *Kanban* eletrônico. Verificou-se que o padrão de movimento de estoque foi mantido dentro dos limites planejados, em contraste ao padrão anterior ao projeto piloto. Tal gráfico pode ser visualizado na **figura 5.1**:

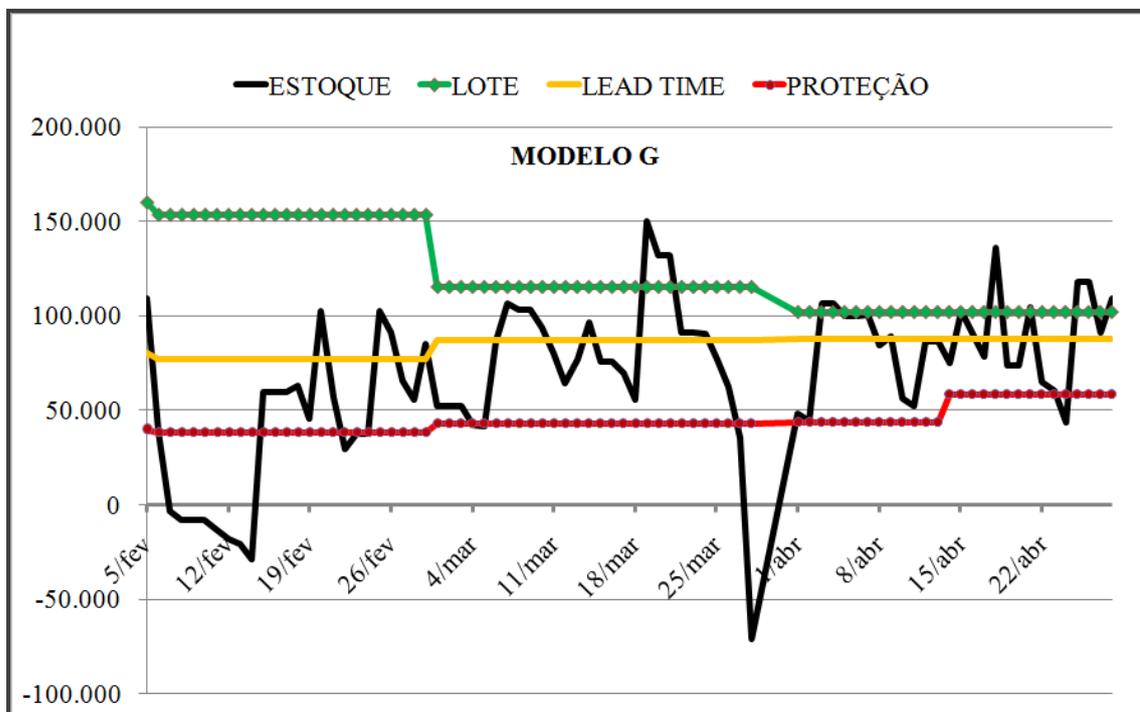


**Figura 5. 1 - Estoque diário expresso em peças para o modelo K, com evidência de eliminação da superprodução após a implantação do método. Fonte: dados da empresa A.**

Assim, de acordo com a **figura 5.1**, constatou-se que o método resultou na melhoria mais importante, no contexto da Manufatura Enxuta, uma vez que eliminou a superprodução, o pior tipo de desperdício em sistemas de produção.

*Fato relevante: Constatou-se a eliminação da superprodução no fluxo de valor estudado após a aplicação do método proposto.*

Como informação adicional, constatou-se a ocorrência de pedidos em grande volume de um único cliente, que levou o sistema à falta do estoque de produtos acabados. Esta ocorrência foi evidenciada também mediante a análise dos gráficos de estoques, conforme exemplificado para o modelo G, de acordo com a **figura 5.2**:



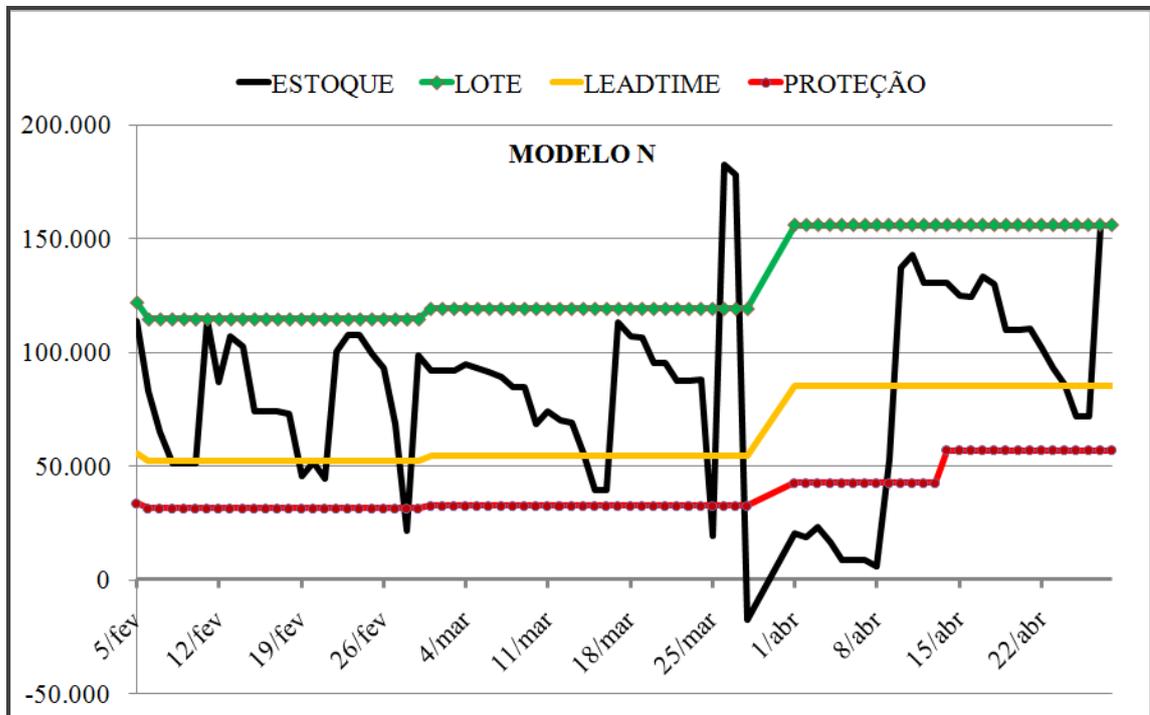
**Figura 5. 2 – Estoque diário expresso em peças para o modelo G, com evidência de pedido de maior volume no final do mês de Março/2008. Fonte: dados da empresa A.**

*Fato relevante: Constatou-se a eliminação da superprodução no fluxo de valor estudado após a aplicação do método proposto.*

Por outro lado, embora tenha ocorrido falta de estoque, de acordo com a **figura 5.2**, o prazo de entrega havia sido negociado com o cliente, que concordou em receber o pedido com quatro dias de atraso. Desse modo, os gerentes de Manufatura e de Operações concordaram que este é uma situação fora do controle dos gestores da empresa no curto prazo, e deve ser alvo de análise para uma futura negociação com os clientes para que estes venham a colocar pedidos mais distribuídos ao longo do mês.

*Fato relevante: Constatou-se que o padrão de demanda instável não afetou o desempenho do método, e não pode ser eliminado no curto prazo. Porém ressalta-se que houve a necessidade de negociação com os clientes.*

Este padrão de pedidos concentrados abarcou cerca de onze modelos de produtos “TOP” ao final do mês de Março/2008, mesmo para itens com demanda mais estável, conforme exemplificado para o modelo N na **figura 5.3**:



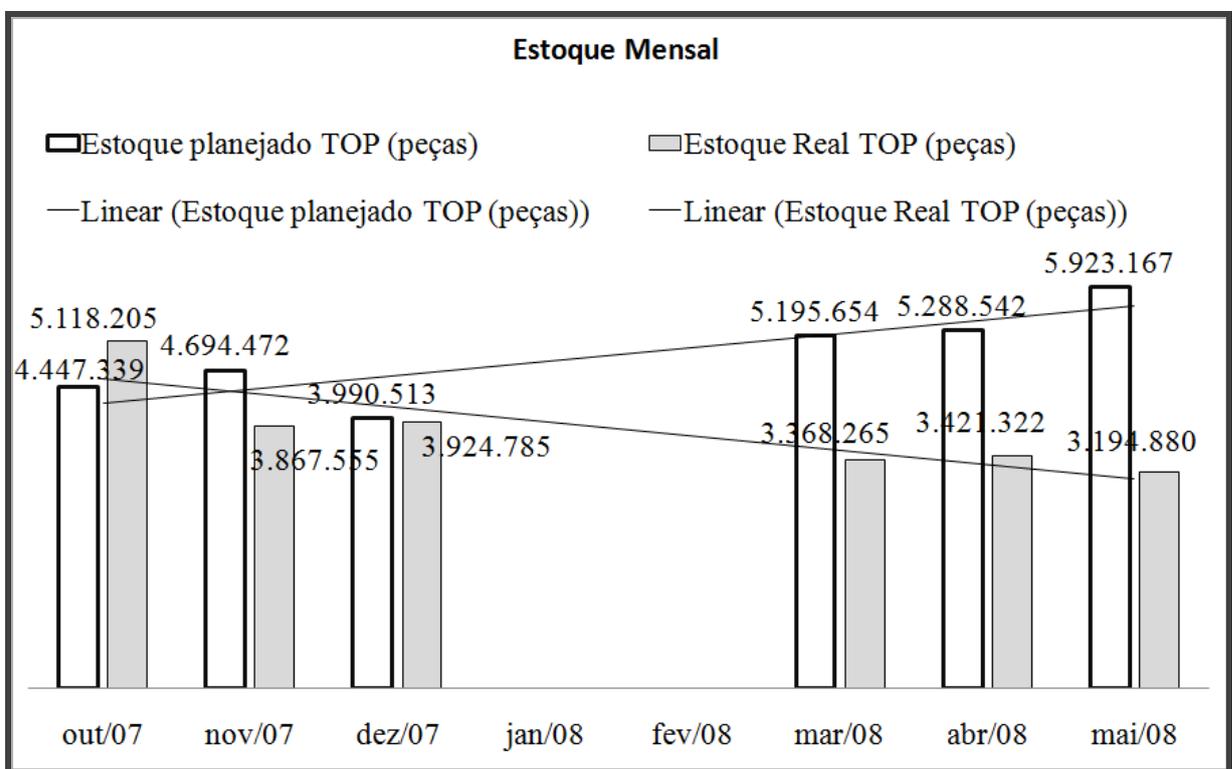
**Figura 5. 3 – Estoque diário expresso em peças para o modelo N, com evidência de demanda mais estável durante o projeto. Fonte: dados da empresa A.**

De acordo com a **figura 5.3**, mesmo os produtos que apresentaram um padrão de demanda mais uniforme ao longo dos três meses tiveram pedidos concentrados no final do mês de Março/2008. Porém, uma vez que o estoque de proteção de quatro dias era utilizado para a proteção contra a falta de produtos, constatou-se que o valor deve ser ajustado para cada um dos produtos finais. E, inclusive, verificou-se que o método proporciona um desempenho satisfatório, mesmo diante da possibilidade de ocorrência de pedidos concentrados em períodos específicos do mês.

Por essa razão, a variação da demanda dos itens TOP não representou um problema tão grave o suficiente para inviabilizar o método de produção nivelada, contrariando a linha de pensamento que defende que os métodos da Toyota são adequados apenas à cadeia automobilística, conforme citado no capítulo 1. Porém, esta incerteza deve ser alvo de análise nos próximos fluxos de valor da empresa e em aplicações posteriores.

*Fato relevante: O padrão de pedidos concentrados sugere uma análise mais cautelosa nos fluxos de valor da empresa e em pesquisas posteriores, e os estoques de proteção devem ser dimensionados caso a caso.*

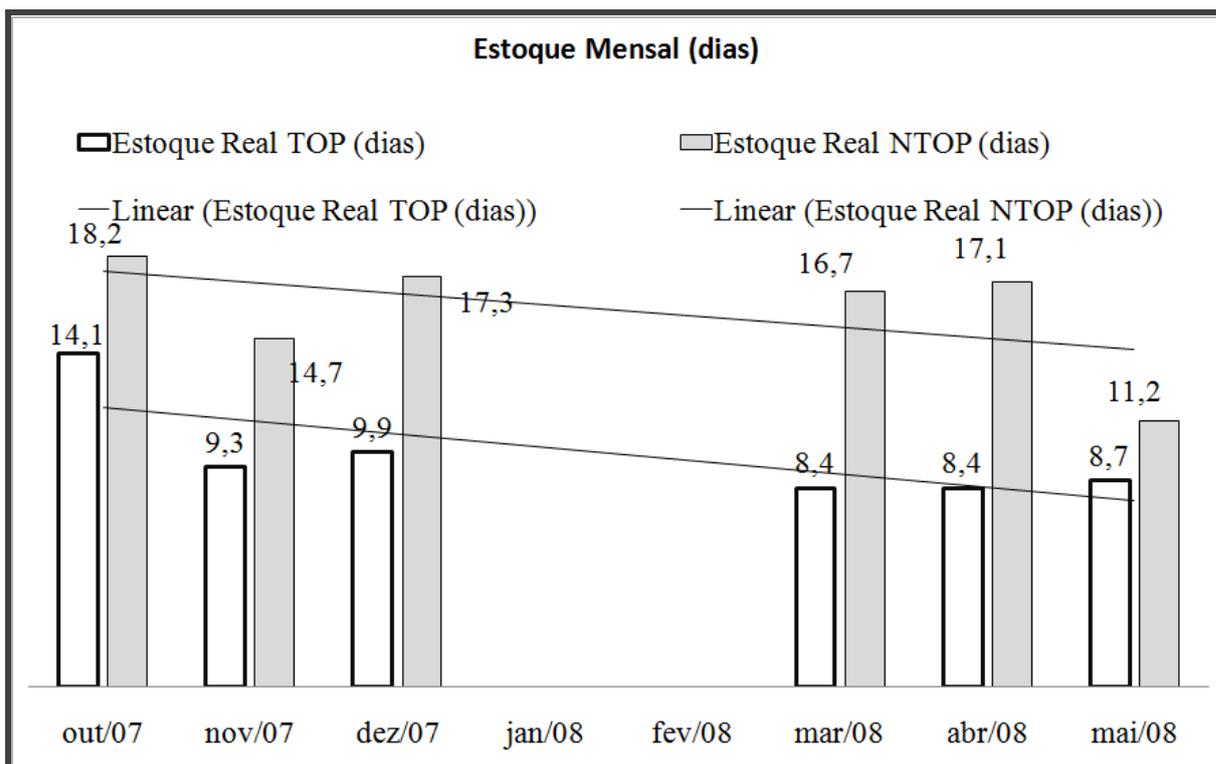
Embora a variação mensal da demanda real tenha apresentado uma tendência decrescente ao longo do período de observação, o estoque planejado foi acrescido de 25% para atender às expectativas do departamento de Vendas da empresa, que esperava vendas crescentes. No entanto, verificou-se que o nível do estoque “realizado” dos produtos apresenta uma tendência decrescente, corroborando a efetividade do novo método, no período de observação. Estes indicadores são apresentados na **figura 5.4**:



**Figura 5. 4 – Estoque médio mensal expresso em peças para os itens TOP (planejado e realizado) para o fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A.**

Na **figura 5.4**, constatou-se que a revisão da carga mensal planejada - o estoque dos produtos acabados – mostrou-s desnecessária, uma vez que o volume de vendas reais não foi confirmado no decorrer do intervalo de análise.

De forma similar, inclusive, o estoque dos itens NTOP também apresentou tendência de queda, conforme pode ser visto na **figura 5.5**:



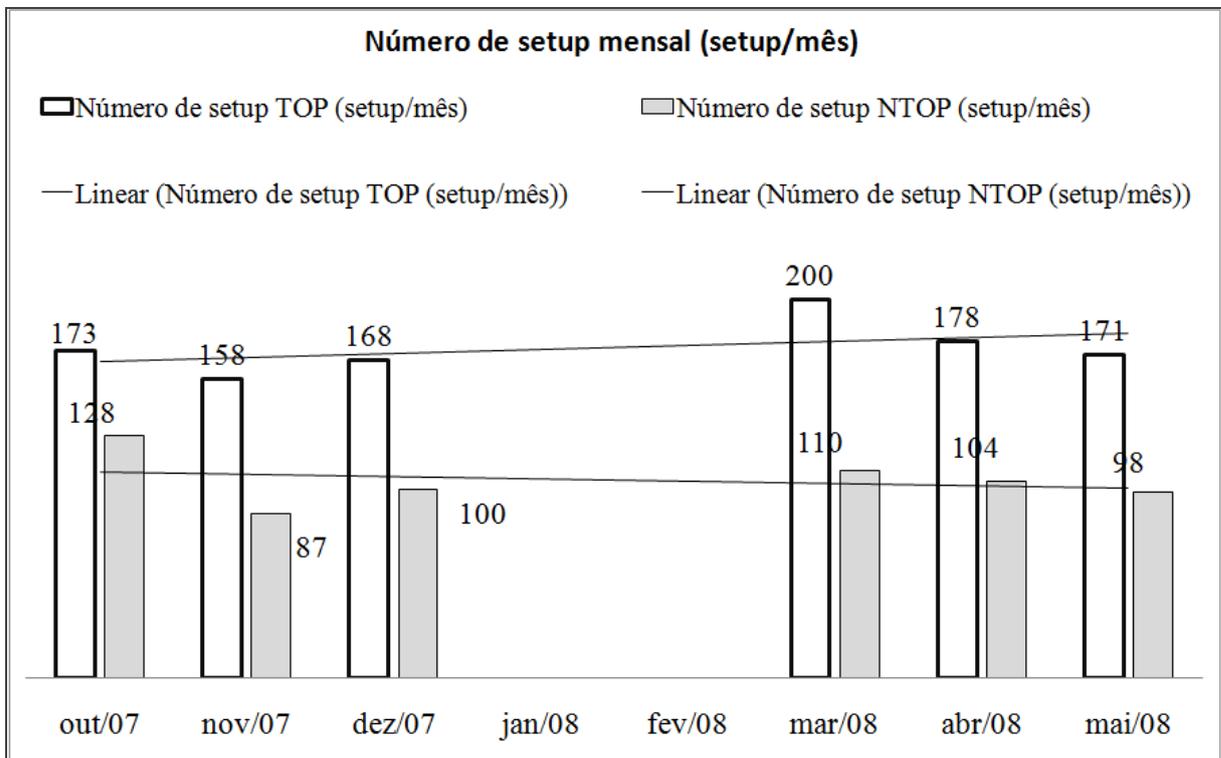
**Figura 5.5 – Estoque médio mensal expresso em dias para os itens TOP e NTOP no período de observação do fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A.**

De acordo com a **figura 5.5**, verifica-se que o estoque real, expresso em dias, tanto para os itens TOP quanto NTOP foram gradualmente reduzidos. Isto corrobora o método contribuiu de fato para a redução do tempo de atravessamento (*lead time*) e aumento da Rapidez.

*Fato relevante: Mesmo com a demanda decrescente, o estoque de produtos acabados foi reduzido, confirmando a melhoria nos níveis dos estoques e redução do lead time, em decorrência da eliminação da superprodução.*

Analisando do ponto de vista da flexibilidade de composto (*mix*), verificou-se que, no método proposto, o controle do tamanho dos lotes de produção passou a ser mais rigoroso, com regras claras para a definição dos mesmos. Mediante os resultados anteriores, o número de *Set up* dos itens TOP aumentou, uma vez que o tamanho médio dos lotes de produção foi reduzido. Porém, vale ressaltar que esta melhoria está limitada à restrição do tamanho de lote mínimo de produção. No que tange aos itens NTOP, o número de *Set up* por mês não foi alterado significativamente, mas apresentou uma tendência levemente decrescente. Mesmo assim, não

houve alteração relevante na flexibilidade de mix destes itens. Este cenário pode ser visualizado na **figura 5.6**:

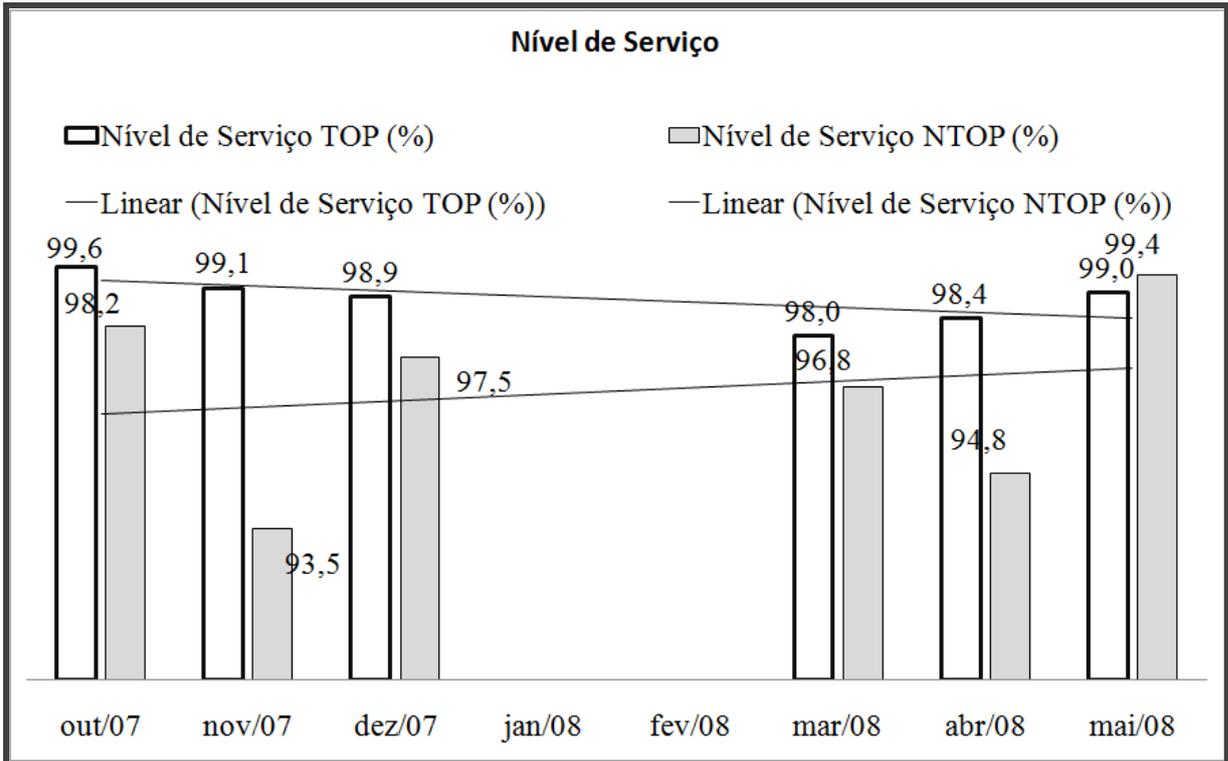


**Figura 5. 6 – Número de Set up por mês para os itens TOP e NTOP do fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A.**

*Fato relevante: Constatou-se que houve aumento na flexibilidade de mix dos itens TOP, com o aumento do número de Set up mensal em 10% em função da redução dos tamanhos dos lotes limitados aos valores mínimos.*

*Fato relevante: O número de Set up dos itens NTOP não sofreu acréscimo, o que implica ausência de alteração na flexibilidade de mix destes itens.*

Por último, o Nível de Serviço dos itens NTOP não foi alterado significativamente, porém há tendência de crescimento no período após o projeto. Por outro lado, embora o Nível de Serviço dos itens TOP apresente tendência de redução em todo o período do projeto, este indicador apresenta tendência crescente no período posterior ao projeto. Porém, vale ressaltar que os valores encontram-se acima da meta corporativa de 97%, conforme apresentado na **figura 5.7**:



**Figura 5. 7 – Nível de Serviço dos itens TOP e NTOP para o fluxo de valor estudado.**

**Fonte: dados da empresa A.**

Logo, isto corrobora que o projeto não reduziu a Confiabilidade no fluxo estudado, porém recomenda-se atenção e a equipe deve continuar monitorando este indicador.

*Fato relevante: Constatou-se que não houve alteração do Nível de Serviço (Confiabilidade).*

Finalmente, o sumário dos resultados dos itens TOP foi tabulado na **figura 5.8:**

MÉTRICA	OBJETIVO	MÉDIA	TENDÊNCIA	SITUAÇÃO
DEMANDA (PÇS)	RECEITA	<u>MENOR</u>	<u>DECRESCENTE</u>	ATENÇÃO
ESTOQUE (PÇS)	CUSTO	MENOR	DECRESCENTE	MELHOR
ESTOQUE (DIAS)	RAPIDEZ	MENOR	DECRESCENTE	MELHOR
TAM LOTE	FLEXMIX	MENOR	DECRESCENTE	MELHOR
NUMSETUP	FLEXMIX	MAIOR	CRESCENTE	MELHOR
NÍVEL SERVIÇO	P.A.	<u>MENOR</u>	CRESCENTE	ATENÇÃO

**Figura 5. 8 – Resumo dos resultados do desempenho antes e depois do projeto piloto para os itens TOP do fluxo de valor estudado. Fonte: dados da empresa A.**

A alteração nas práticas de programação e controle dos itens TOP não provocou efeitos secundários negativos, no que tange aos itens NTOP não controlados pelo método proposto. Logo, os resultados destes foram sumarizados e tabulados, conforme a **figura 5.9**:

MÉTRICA	OBJETIVO	MÉDIA	TENDÊNCIA	SITUAÇÃO
DEMANDA (PÇS)	RECEITA	<u>MENOR</u>	<u>DECRESCENTE</u>	ATENÇÃO
ESTOQUE (PÇS)	CUSTO			
ESTOQUE (DIAS)	RAPIDEZ	MENOR	DECRESCENTE	MELHOR
TAMLOTE	FLEXMIX	MAIOR	CRESCENTE	MELHOR
NUMSETUP	FLEXMIX	MENOR	DECRESCENTE	MELHOR
NÍVEL SERVIÇO	CONFIABILIDADE	MAIOR	<u>DECRESCENTE</u>	ATENÇÃO

**Figura 5.9 – Resumo dos resultados no desempenho nos itens NTOP, não controlados pelo novo método. Fonte: dados da empresa A.**

Verifica-se que, embora o indicador de Rapidez tenha sido maior, na ordem de 10%, a equipe constatou que o projeto não alterou o Nível de Serviço dos itens controlados pelo *software*, cabendo apenas um acompanhamento dos indicadores por um período de tempo maior. Logo, Em linhas gerais, o método reduziu os Estoques (menos Custos) e o *Lead time* (maior Rapidez) dos itens TOP e NTOP, aumentou o Número de *Set up* (maior Flexibilidade de *mix*) dos itens TOP, sem alterar o Nível de Serviço (Confiabilidade) dos itens TOP e NTOP.

Visto que a equipe considerou os efeitos secundários irrelevantes, ficou decidido que as outras malhas de implantação do método – processos intermediários e fornecedores – serão analisados para possibilitar uma revisão do Sistema *Kanban* em todo o fluxo de valor. Logo, com base nos resultados satisfatórios do novo método, as ações planejadas foram padronizadas para que sirvam de referência para os outros fluxos de valor da empresa A.

## 5.2. QUANTO AOS PRINCÍPIOS E POLÍTICAS DA PRODUÇÃO NIVELADA

Dando continuidade à etapa de verificação dos resultados, foi feita uma análise das práticas decorrentes do método proposto no que tange ao atendimento dos princípios e políticas da Produção Nivelada no estado futuro, de forma análoga à análise ao estado original da empresa A. Assim, os **quadros 5.2 e 5.3** contêm os resultados tabulados para a referida análise.

**Quadro 5.2 – Princípios dos processos enxutos do Modelo Toyota.**

<b>PRINCÍPIO</b>	<b>FATOS RELEVANTES</b>	<b>ATENDE (SIM/NÃO)</b>
O fluxo contínuo traz os problemas à tona.	O plano nivelado evidenciou que capacidade ociosa era mal gerenciada, uma vez que o <i>software</i> antecipava a produção, dando a impressão de capacidade insuficiente, com horas extras frequentes.	SIM
Utilize sistemas puxados para evitar a superprodução.	O sistema proposto com o método tornou o controle da produção e dos estoques mais preciso e baseado na reposição do supermercado e a superprodução foi eliminada.	SIM
Nivele a produção ( <i>Heijunka</i> ).	A produção foi nivelada ao limite máximo possível, dadas as restrições de tamanho dos lotes mínimos. Além disso, revelou a existência de capacidade ociosa. Os picos e vales de produção foram reduzidos.	SIM
Crie a cultura de parar e resolver os problemas para obter qualidade na primeira tentativa.	Este princípio está atendido e ressalta-se que diversas ações de melhoria foram iniciadas.	SIM
Padronize as tarefas como base para a melhoria contínua e o <i>empowerment</i> dos funcionários	O conhecimento foi descentralizado no chão-de-fábrica, uma vez que os operadores e abastecedores de materiais podem coletar os dados diários do estoque e programar a produção diária.	SIM
Utilize controles visuais para expor os problemas e melhorar o fluxo de produção.	Foram instalados controles visuais no processo puxador, representados pelo quadro <i>Kanban</i> , quadro de nivelamento e o quadro de controle da produção horária.	SIM
Utilizar tecnologias confiáveis que sirvam aos processos e às pessoas e criem valor.	A utilização do <i>software</i> original foi descontinuada para os itens TOP e o <i>Kanban</i> eletrônico desenvolvido após o método apresentou-se como uma ferramenta simples, confiável e direcionado à melhoria da programação diária.	SIM

Fonte: elaborado pelo autor.

**Quadro 5.3 – Políticas do Nivelamento da Produção e do Sistema *Kanban*.**

<b>POLÍTICA</b>	<b>FATOS RELEVANTES</b>	<b>ATENDE (SIM/NÃO)</b>
Priorizar os itens de maior contribuição às receitas mensais	Foi implantada com o método: 22 itens TOP e 108 itens restantes (NTOPI).	SIM
Orientar a redução gradual dos tamanhos dos lotes	Houve redução do tamanho dos lotes e aumento do número de <i>Set up</i> por mês, porém, esta redução está limitada ao tamanho dos lotes mínimos de produção.	SIM
Programar apenas o processo puxador	Esta política continua sendo atendida.	SIM
Fluxos de informação simplificados e confiáveis	Os fluxos de informações foram considerados claros, objetivos e simples.	SIM
Reposição de itens consumidos no supermercado	A produção é disparada mediante a retirada dos produtos e o ponto de ressuprimento, agora, vinculados à programação diária de acordo com as regras do Sistema <i>Kanban</i>	SIM
Controlar a produção dos processos anteriores	Esta condição não foi alterada e continua atendendo a esta política.	SIM
Evitar a superprodução	A superprodução foi eliminada uma vez que a utilização do <i>software</i> foi limitada aos modelos de menor demanda.	SIM
Orientar as ações de melhoria contínua	O método orientou as ações de melhoria da produtividade, estoques, métodos de programação, entre outras.	SIM
Aumentar a autonomia ao descentralizar a tomada de decisões de programação	Mediante a definição de regras claras e simplificadas, os operadores e abastecedores de materiais estão autorizados a realizar a programação diária.	SIM
Deve ser orientado para a redução gradual do estoque em todo o fluxo de valor	O método orientou a redução dos parâmetros de cálculo, o <i>lead time</i> e o estoque de proteção, gradualmente, mediante a análise gráfica do estoque.	SIM

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com os **quadros 5.2 e 5.3**, constatou-se que as práticas introduzidas na empresa A, como parte integrante do método proposto, atenderam aos princípios e políticas previamente definidos no capítulo 3. Desse modo, o plano nivelado evidenciou que capacidade disponível era mal gerenciada, uma vez que o *software* antecipava a produção, dando a impressão de capacidade insuficiente, com horas extras freqüentes. Além disso, o método tornou o controle da produção e dos estoques mais preciso e baseado na reposição do supermercado. Assim, a superprodução foi eliminada e a produção foi nivelada considerando os lotes mínimos de produção. Além disso, revelou a existência de capacidade ociosa, visto que os picos e vales de produção foram minimizados.

No que tange a autonomia, verificou-se que o conhecimento foi descentralizado, uma vez que os operadores e abastecedores de materiais podem coletar os dados diários do estoque e programar a produção diária. Além disso, foram instalados controles visuais no processo puxador, representados pelo quadro *Kanban*, quadro de nivelamento e o quadro de controle da produção horária. Finalmente, a utilização do *software* original foi restrita apenas aos "itens C", e o *Kanban* eletrônico desenvolvido após o método apresentou-se como simples, confiável e direcionado à melhoria da programação diária.

No que se refere ao atendimento das políticas, o método iniciou-se a partir da priorização dos produtos, que foram divididos em classes A e B, compreendendo 22 itens TOP; e classe C, com 108 itens NTOP. A elaboração do plano nivelado possibilitou a redução do tamanho dos lotes em relação ao praticado no estado original e foi evidenciado pelo aumento do número de *Set up* por mês, porém, esta redução está limitada ao tamanho dos lotes mínimos de produção. No que se referem às regras propostas, os fluxos de informações apresentados foram considerados claros e simplificados.

Logo, eliminou-se a subjetividade que marcava o estado original. O método proposto introdução o conceito de reposição do supermercado, na qual a produção é disparada mediante a retirada dos produtos, que, após atingir o ponto de ressuprimento, geram a programação diária com base nas regras operacionais do Sistema *Kanban*. Ressalta-se que a substituição do *software* pelo método proposto contribuiu para que a superprodução fosse eliminada, visto que a utilização do *software* foi limitada aos modelos de menor demanda.

Por último, o método orientou diversas ações de melhoria, dentre as quais podem ser citadas o aumento da produtividade, a redução dos estoques planejados, a melhoria dos critérios de programação, entre outras. Logo, com base na definição de regras claras e simples, os operadores e abastecedores de materiais ganharam autonomia para tomar decisões sobre o quê, quanto e quando produzir diariamente. Além disso, O método orientou elaboração do plano de redução dos estoques planejados, vinculado à redução dos parâmetros de cálculo do *Kanban*: o *lead time* e o estoque de proteção, gradualmente, mediante a análise gráfica do estoque.

### 5.3. COMPARAÇÃO AO MÉTODO DE SMALLEY

Esta seção contempla a terceira etapa de análise dos resultados da aplicação do método proposto, uma vez que a motivação para a pesquisa partiu, em parte, das lacunas existentes na literatura sobre a Produção Nivelada. Por essa razão, esta seção visa estabelecer uma comparação entre as características do caso estudado e as concebidas no método proposto por Smalley, as quais foram identificadas no capítulo 2.

O método de Smalley caracteriza-se pela simplicidade da apresentação dos conceitos e um ambiente de produção caracterizado por um fluxo de valor simples, com uma célula de montagem, poucos produtos, tempos de *Set up* reduzidos e lotes de produção com *Pitch* de 9 min. Logo, estas informações e as respectivas características do caso estudado estão sumarizadas no **quadro 5.4**:

**Quadro 5.4 – Comparação entre o método de Smalley e o proposto.**

<b>ELEMENTOS</b>	<b>MÉTODO SMALLEY</b>	<b>MÉTODO PROPOSTO</b>
<b>Caso estudado</b>	Exemplo teórico	Exemplo real
<b>Cálculo <i>Kanban</i></b>	Não considera lotes	Considera lotes e três faixas do quadro- <i>Kanban</i>
<b>Plano nivelado</b>	1 turno	6 dias
<b>Operações (Processo Puxador)</b>	Montagem	Fabricação
<b>Volumes diários médios</b>	1.000 peças	> 600.000 peças
<b>Mix de produtos</b>	25	130

<b>Tempo de <i>Set up</i></b>	“reduzido”	9 min
<b>Tamanho médio dos lotes de produção</b>	10 peças	65.673 peças
<b><i>Pitch</i> médio</b>	9 min	144 min
<b>Tipo de produção</b>	<i>Just-in-time</i>	Produção em lotes
<b>% <i>Pitch</i> médio / tempo disponível produzir turno</b>	9 min / 450 min = 2%	144 min / 450 min = 32%
<b>Taxas de produção</b>	Iguais entre os modelos	Diferentes entre os modelos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base no **quadro 5.4**, o método proposto foi aplicado em um fluxo de valor com características bastante diferentes daquelas utilizadas no método de Smalley. Logo, concluiu-se que o caso estudado contempla um ambiente pouco citado na literatura, por três razões: primeiramente, trata-se de um caso real de aplicação da Produção Nivelada em um sistema de manufatura de bens de consumo. Além disso, evidenciou-se que existem restrições que impedem a redução significativa dos lotes de produção, cujos volumes diários representam centenas de milhares de peças produzidas de uma gama de modelos. Constatou-se que o *Pitch* médio igual a 144 min, equivalente a 32% da capacidade disponível corrobora a caracterização do caso como produção em lotes com taxas de produção diferentes entres os modelos. Logo, esta seção encerra a análise dos resultados do método proposto, cujo diagnóstico será dado na próxima seção.

#### 5.4. DIAGNÓSTICO DO ESTADO FUTURO

Uma vez que não foram identificadas falhas conceituais no método, todas as atividades apresentadas serão padronizadas e servirão como treinamento básico das próximas equipes de implantação em outros fluxos de valor na empresa pesquisada. Além disso, os percentuais de variação nas médias, apresentadas na etapa de análise dos resultados, servirão como benchmark, de modo a comparar os ganhos em desempenho em outros fluxos de valor da empresa.

Visando garantir que o método seja mantido e operacionalizado corretamente, a equipe estabeleceu uma frequência de acompanhamento mensal dos indicadores de desempenho, além de

haver reuniões quinzenais com os gerentes de Manufatura, Operações e de Projetos para discussões dos eventuais problemas que possam ser detectados. Logo, caberá ao supervisor e coordenador da produção a verificação diária da rotina de trabalho.

Vale ressaltar que o método deve ser alvo de discussões para que, continuamente, novas oportunidades de melhoria sejam identificadas. Além disso, a replicação do método em outros fluxos de valor poderá atestar o caráter genérico do método, bem como poderá identificar limitações em outros processos operados em lotes, passíveis de adaptações ou correções.

### 5.5. COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO 5

Neste capítulo, os resultados foram analisados por meio de três abordagens: indicadores de desempenho, adequação aos princípios e políticas, comparação ao método de Smalley. Primeiramente, a análise tangível foi baseada na verificação da variação dos valores médios mensais dos indicadores de desempenho mediante a análise gráfica. Os indicadores utilizados foram: Tamanho de Lote, Número de *Set up*, Estoque e Nível de Serviço.

Verificou-se durante o período de estudo, que a demanda apresentou queda suave, e houve melhoria na flexibilidade, no tempo de atravessamento (*lead time*) e nos custos, sendo que não houve mudanças significativas no Nível de Serviço. Porém, os resultados sugerem que se obteria uma redução de estoques mais acentuada caso não houvesse restrições dos tamanhos dos lotes. Dessa forma, é digno de nota, que os indicadores dos itens não controlados (NTOP) sugerem que houve redução pouco significativa no número de *Set up*, o que implica não houve alteração do ciclo de reposição dos itens de demanda menor, conforme mencionado na revisão bibliográfica. Isto denota a ausência de efeitos secundários negativos.

A segunda abordagem, intangível, fundamentou-se na comparação do estado futuro (após o método) quanto à adequação aos princípios e políticas da Produção Nivelada, tal como foi realizado para as práticas da empresa A. Constatou-se que houve adesão plena aos elementos referidos, porém, vale ressaltar, que o *Kanban* eletrônico foi adaptado à realidade da cadeia produtiva da empresa apenas no aspecto da gestão visual, uma vez que as funções e regras básicas foram obedecidas.

Finalmente, foi feita a comparação entre os dois métodos, de Smalley e o proposto. Constatou-se que o segundo apresenta como uma versão mais geral do primeiro, levando em consi-

deração as características apresentadas, incluindo, a maior variedade de produtos, as taxas de produção diferentes, o plano nivelado baseado na capacidade requerida, entre outros. Por essas razões, constatou-se que o método proposto possibilita a aplicação em sistemas de fabricação com variedade de produtos e produção em lotes.

Ressalta-se que o método contribuiu para a melhoria dos resultados da empresa pesquisada, no fluxo de valor estudado, mediante a alteração das práticas de PCP atuais por um método de baixo custo, simples e eficaz, centrado nos princípios da Manufatura Enxuta, em particular, os princípios dos processos enxutos e as políticas do Nivelamento da Produção e da Produção Puxada. Além disso, os indicadores selecionados foram suficientes para orientar a eficácia do método e comparar o desempenho, antes e depois da aplicação do método proposto.

Em suma, o método foi validado tendo em vista a utilização de três critérios incontestáveis: melhoria do desempenho em um caso real, adequação aos princípios e políticas e o caráter sistemático e genérico quando comparado ao método de Smalley. Finalmente, este capítulo encerra o objetivo específico referente à pesquisa de campo e validação do método proposto.

O capítulo seguinte apresenta as conclusões e as recomendações da pesquisa.

## CAPÍTULO 6

### 6. CONCLUSÕES

#### 6.1. CONCLUSÕES

A relevância dos segmentos industriais no desenvolvimento da economia das nações justifica a demanda por métodos de melhoria do desempenho empresarial, principalmente técnicas de gestão da produção associadas ao planejamento e controle da produção. Nesse contexto, ao analisar uma cadeia de valor que produz modelos variados, composta por vários elos produtivos, a vantagem principal em se utilizar a Produção Nivelada consiste na minimização dos efeitos nocivos ao desempenho organizacional causados pelo fenômeno conhecido como “Efeito Forrester”. Isto ocorre ao se utilizar estoques de produtos acabados, devidamente dimensionados, além de manter uma produção nivelada, com lotes gradualmente reduzidos.

Partindo desses conceitos, o método foi desenvolvido a partir dos objetivos específicos listados no capítulo 1, e foi estruturado a partir da representação genérica dos métodos de PCP da Manufatura Enxuta, dividida nos horizontes de médio e curto prazo. O método se inicia a partir da priorização dos produtos que contribuem com 80% da demanda mensal média, para em seguida, definir os tamanhos dos lotes compatíveis com a capacidade disponível e o tempo de preparação (*Set up*). Logo, o conceito de nivelamento dos modelos de produtos consistiu na distribuição das “janelas de tempo” ao longo de seis dias.

No médio prazo, por exemplo, o plano nivelado foi o elemento central e de vital importância para a definição dos critérios básicos para o planejamento e cálculo da Produção Nivelada. Foi apresentada uma alternativa de cálculo, substituindo os lotes de produção, isto é, a carga planejada, pela capacidade requerida ou *Pitch* de produção. Assim, possibilitou-se uma visão mais ampla sobre as limitações da capacidade produtiva em relação ao método original.

Constatou-se que o tempo *Takt* não é adequado para sistemas de fabricação e por essa razão, foi substituída pelo *Pitch* de produção, pois permite conhecer a capacidade requerida para a produção de uma dada carga semanal e confirmou-se que o plano nivelado fornece as entradas para o cálculo do *Kanban*, mediante a definição das variáveis, tais como a demanda, o *lead time*, e o número de *Set up*. Na sequência, foram estabelecidas regras para o dimensionamento do sistema *Kanban* e as regras de operação das cinco atividades de controle da produção.

O método foi aplicado em um fluxo de valor com operações de fabricação, com cerca de 130 produtos pertencentes a quatro famílias, sendo que apenas vinte e dois modelos de produtos foram priorizados. Os resultados foram analisados por meio de duas abordagens: a primeira, baseada na análise gráfica dos indicadores de desempenho, dentre eles, destacam-se: Tamanho de Lote, Número de *Set up*, Estoque em dias, Estoque e Nível de Serviço. Verificou-se que houve redução do tempo de atravessamento (estoque em dias), redução dos custos (estoques), aumento da flexibilidade de *mix* (número de *Set up*), tanto para os controlados (TOP) quanto os não controlados (NTOP) pelo método. Entretanto, mesmo não havendo alteração no Nível de Serviço, obteve-se a validação do método sem gerar efeitos secundários negativos.

Vale lembrar que os resultados evidenciam que o aumento do desempenho do fluxo de valor da empresa fora limitado em função do tamanho de lote mínimo requerido pelo processo. Inclusive, é razoável afirmar que se o método proposto for aplicado em sistemas de fabricação sem restrições de tamanho de lote, possibilitará resultados mais expressivos.

A segunda abordagem fundamentou-se na comparação do estado futuro (após o projeto) aos princípios e políticas da Produção Nivelada, tal como foi realizado para as práticas da empresa A. Constatou-se que houve adesão plena aos elementos referidos. Além destes resultados, ressalta-se que a principal alteração proposta pelo método consistiu na eliminação da superprodução, mediante a introdução de regras claras e simples, porém, em conformidade aos fundamentos da Manufatura Enxuta. A partir de então, outras melhorias foram identificadas no decorrer da aplicação do método, tais como a constatação da capacidade ociosa mediante a elaboração do plano nivelado, o controle da produção baseado no incremento *Pitch* de uma hora, a introdução da gestão visual, a possibilidade de aumento da produtividade, o estabelecimento de critérios para redução dos estoques planejados, entre outros.

Em suma, levando em consideração que o método proposto apresentou resultados satisfatórios, a pesquisa confirmou a afirmação de que a flexibilidade aumenta a rapidez e reduz os estoques. Com isto, mostrou-se viável a aplicação da Produção Nivelada em sistemas de fabricação, com produção em lotes, fora da cadeia produtiva automotiva. Portanto, conclui-se que a pesquisa apresentada seja mais abrangente que o método proposto por Smalley, representando uma contribuição importante tanto para a literatura como para a empresa pesquisada, por meio de um método estruturado nos princípios da Manufatura Enxuta.

É digno de nota que se espera que este trabalho sirva de referência para outras empresas e pesquisadores, pois, mediante a replicação do método, será possível validar o caráter genérico do mesmo. Portanto, algumas recomendações para pesquisas estão listadas na seção seguinte.

## **6.2. RECOMENDAÇÕES DE PESQUISAS**

Devido à delimitação do escopo da pesquisa – conforme apresentado no capítulo 1 – bem como às oportunidades encontradas no decorrer da aplicação do método, foram identificadas lacunas que geram algumas sugestões para pesquisas no tema estudado.

### **6.2.1. Decorrentes da delimitação do escopo da pesquisa**

1. Estender o método para sistemas de fabricação com estratégias de posicionamento dos produtos do tipo produzir sob encomenda ou montar sob encomenda. Incluir análises sobre o padrão da demanda externa em segmentos de manufatura de bens de consumo.
2. Aplicar o método em outras empresas de segmentos de bens de consumo com operações de fabricação em lotes, no intuito de validar o caráter genérico do método.

### **6.2.2. Decorrentes das possibilidades encontradas na pesquisa**

1. Estudar a aplicabilidade de métodos de produção nivelada para sistemas de produção com produtos em baixo volume e alta variedade;
2. Revisar os métodos de cálculo do Sistema *Kanban* para que os processos pertencentes à malha de implantação “processos intermediários” possam ser analisados com maior generalidade, abrindo espaço para outras pesquisas.

## BIBLIOGRAFIA

- BAKER, R. C. *Production system without MRP: a lean time based design*. Omega. International Journal of Management Sciences. Vol. 22, No. 4, pp. 349-360, 1994.
- BALLÉ, F. BALLÉ, M. *A mina de ouro: uma transformação Lean em romance*. São Paulo: Lean Enterprise Institute. 2006. 372 pp.
- BAUTISTA, J. CANO, J. *Minimizing work overload in mixed-model assembly lines*, International Journal of Production Economics (2007), doi:10.1016/j.ijpe.2006.08.019.
- BOYSEN, N. FLIEDNER, M. SCHOLL, A. *Sequencing Mixed-Model Assembly Lines: Survey, Classification and Model Critique*. Jena Research Papers in Business and Economics. Friedrich-Schiller-University Jena. 02/2007. Artigo eletrônico disponível no site <http://www.jbe.uni-jena.de>. Capturado no dia 13/02/2008.
- BROWNE, J. HARHEN, J. SHIVNAN, J. *Production management systems: a CIM perspective*. Wokingham: Addison-Wesley, 1988. 284 pp.
- COLEMAN, B. J. VAGHEFI, M. R. *Heijunka: A key to the Toyota production system*. Production and Inventory Management Journal; Fourth Quarter 1994; 35, 4, 1994.
- COONEY, R. *Is "lean" a universal production system? Batch production in the automotive industry*. International Journal of Operations & Production Management. Vol. 22, No. 10, 2002, pp. 1130 – 1147.
- DAVIS, M. AQUILANO, N. CHASE, R. *Fundamentos da administração da produção*. Porto Alegre: Bookman, 2001. 3ª ed. 598 pp.
- DUGGAN, K. J. *Creating mixed model value streams: practical lean techniques for bulding to demand*. New York: Productivity Press, 2002. 198 pp.
- EISENHARDT, K. *Building Theories from Case Study Research*. The Academy of Management Review, v. 14 n. 4, p. 532-550, 1989.
- ETIENNE, E. C. *Supply Chain Responsiveness and the Inventory Illusion*. Supply Chain Forum. Vol. 6, n. 1, 2005.

- FAVARO, C. *Integração da Cadeia de Suprimentos Interna e Externa através do Kanban*. Dissertação (mestrado). Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Engenharia mecânica, 2003. 115 pp.
- FORTH, K. D. Component supplier successful with lean methods. *FDM Furniture*; Jun 2004; 76, 9; ABI/INFORM Global, pg. 36.
- FUJIMOTO, T. *Evolution of manufacturing system at Toyota*. Productivity Press, 1999. 400 p.
- GAITHER, N. FRAZIER, G. *Administração da produção e operações*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001. 8ª ed. 598 pp.
- GIL, A. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991. 159 p.
- GODINHO FILHO, M. FERNANDES, F. C. F. *Manufatura Enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisas posteriores*. *GESTÃO & PRODUÇÃO*, v.11, n.1, p.1-19, jan.-abr. 2004.
- \_\_\_\_\_. *Paradigmas estratégicos de gestão da manufatura (PEGEMS): elementos-chave e modelo conceitual*. *GESTÃO & PRODUÇÃO*, v.12, n.3, p.333-345, set.-dez. 2005.
- GOUNET, T. *Fordismo e Toyotismo na civilização do automóvel*. São Paulo: Boitempo Editorial, 2002. 117 pp.
- HALL, R. W. *Driving the productivity machine: Production Planning & Control in Japan*. New York. American Production and Inventory Control Society – APICS, 1981. 62 pp.
- HEMAMALINI B, RAJENDRAN C. *Determination of the number of containers, production Kanbans and withdrawal Kanbans; and scheduling in Kanban flowshop - Part I*. *International Journal of Production Research*. 2000. Vol. 38(11). Pages 2549–2572.
- HINES, P. HOLWEG, M. RICH, N. *Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking*. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 24, No. 10, 2004. pp. 994-1011.

HOPP, W. J. SPEARMAN, M. L. *To Pull or Not to Pull: What Is the Question?* Manufacturing & Service Operations Management; Spring, 2004; 6, 2.

JONES, D. WOMACK, J. *A mentalidade enxuta das empresas*. Rio de Janeiro: Campus, 2004. 6ª ed. 408 pp.

\_\_\_\_\_. *Enxergando o Todo: mapeando o fluxo de valor estendido*. São Paulo: Lean Institute do Brasil, 2004.

JONES, D. WOMACK, J. ROOS, D. *A máquina que mudou o mundo*. Rio de Janeiro: Campus, 2004. 342 pp.

JONES, D. *Heijunka: Leveling Production*. Manufacturing Engineering. August, 2006, Vol. 137, N. 2.

KAMADA, S. *A estabilidade na produção: O papel da liderança na Toyota*. São Paulo: Lean Enterprise Institute. Arquivo eletrônico disponível em <http://www.lean.org.br> e capturado em 28-04-2007.

KANET, J. J. *Mean flowtime and inventory in production systems: A finite time analogue to Little's Law*. International Journal of Production Economics, Volume 91, Issue 1, 8 September 2004, Pages 37-46

KIMURA, O. TERADA, H. *Design and analysis of pull system: a method of multistage production control*. International Journal of Production Research. vol. 19. (1981). Pages 241-253.

KOTANI, S. ITO, T. OHNO, K. *Sequencing problem for a mixed-model assembly line in the Toyota production system*. International Journal of Production Research, 1 December 2004, vol. 42, no. 23, 4955–4974.

KOIDE, K. IWATA, T. *Kaizen through Heijunka Production (Leveled Production)*. SAE Technical Papers Series. 2007-01-3886.

KUMAR, C. S. PANNEERSELVAN, R. *Literature review of JIT-Kanban system*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. September, 2005. DOI 10.1007/s00170-005-0340-2.

- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Metodologia Científica*. São Paulo: Atlas, 1983.
- LÉXICO LEAN: *Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean*. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.
- LIKER, J. MEIER, D. *O Modelo Toyota - manual de aplicação: um guia prático para a implementação dos 4Ps da Toyota*. Porto Alegre: Bookman, 2007. 432 pp.
- LIKER, J. *O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo*. Porto Alegre: Bookman, 2005. 320 pp.
- MONDEN, Y. *Smoothed production lets Toyota adapt to demand changes and reduce inventory*. Industrial Engineering. August, pages 42-51. 1981.
- \_\_\_\_\_. *Toyota Production System: an integrated approach*. New York: Engineering & Management Press. 1998. 3<sup>rd</sup> ed. 480 pp.
- MOURA, R. A. *Kanban: simplicidade no chão-de-fábrica*. São Paulo: Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais – IMAM. 1986.
- NIIMI, A. *Heijunka*. Chicago: Manufacturing Week Speech. February 24, 2004. Disponível no site <http://www.lean.org.br>. Acessado no dia 15/02/2007.
- OHNO, T. *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Bookman, 1997. 149 pp.
- PARK, P. S. *Uniform plant loading through level production*. Production and Inventory Management Journal; Second Quarter 1993; 34, 2.
- ROTHER, M. HARRIS, R. *Criando o fluxo contínuo*. São Paulo: Lean Enterprise Institute, 2003. 204 pp.
- SCHONBERGER, R. *Técnicas industriais japonesas: nove lições ocultas sobre a simplicidade*. São Paulo: Pioneira, 1993. 4<sup>a</sup> ed. 200 pp.
- SHINGO, S. *Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da Engenharia de Produção*. Porto Alegre: Bookman, 1996. 294 pp.

SHOOK, J. ROTHER, M. *Aprendendo a enxergar: mapeamento do fluxo de valor para agregar valor e eliminar muda*. Lean Enterprise Institute, 2001.

SILVA, E. MENEZES, E. *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 139 p.

SLACK, N. CHAMBERS, S. JOHNSTON, R. *Administração da produção*. Rio de Janeiro: Atlas, 2002. 754 pp. 2ª Ed

SMALLEY, A. *Criando o sistema puxado nivelado*. São Paulo: Lean Enterprise Institute, 2004. 114 pp.

\_\_\_\_\_. *Connecting assembly with batch processes via basic pull systems*. Arquivo eletrônico disponível no site <http://www.artoflean.com>. Arquivo capturado no dia 10/09/2007.

TAPPING, D. LUYSTER, T. SHUKER, T. *Value stream management*. New York: Productivity Press, 2002. 176 pp.

TARDIN, G. G. LIMA, P. C. *O papel de um Quadro de Nivelamento de Produção na produção puxada: um estudo de caso*. ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Anais... XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2000.

TARDIN, G. G. *O sistema puxado e o nivelamento da produção*. Dissertação (mestrado). Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Engenharia mecânica, 2001. 129 pp.

TOWILL, D. R. ZHOU, L. DISNEY, S. M. *Reducing the bullwhip effect: Looking through the appropriate lens*. International Journal of Production Economics. 108 (2007) 444–453.

TUBINO, D. F. *Manual de planejamento e controle da produção*. Rio de Janeiro: Atlas, 2007. 220 p.

VOLLMANN, T. E. JACOBS, F. R. BERRY, W. WHYBARK, D. C. *Sistemas de planejamento e controle da produção para o gerenciamento da cadeia de suprimentos*. Porto Alegre, Bookman, 2006. 5ª ed. 648 pp.

## APÊNDICE A

### 1. OPERAÇÕES DE FABRICAÇÃO DE MATERIAIS

As operações de fabricação típicas de sistemas de manufatura são classificadas de acordo com Browne *et al* (1988):

#### 1.1. Disjuntivas

Tipo I - Integram este tipo de operação, os processos de manufatura que convertem uma única peça de matéria-prima em várias peças, a exemplo de uma prensa de estampagem que, a partir de uma bobina de aço, produz lotes de várias peças (BROWNE *ET AL*, 1988). Neste caso, famílias de produtos podem ser geradas variando a matéria-prima (aço, alumínio, latão), espessura (bitola) da chapa, geometria da peça, tolerâncias, entre outras características.

Além da estampagem, todas as operações que envolvem o corte de materiais, tais como, tarugos, lingotes e fios podem ser enquadrados nesta categoria. Deste modo, a manufatura de móveis, utensílios domésticos, materiais de escritório, latas e garrafas, vasos, tanques, entre outros, são classificados como operações disjuntivas.

Tipo II - Fazem parte deste tipo os processos metalúrgicos que envolvem o processamento de lotes de materiais a granel, tais como sinterização do pó, de injeção e moldagem de plásticos, entre outros. Estes processos, que operam em lotes, compreendem os fabricantes de componentes de equipamentos industriais.

#### 1.2. Seqüenciais

Tipo I - Esta categoria abrange os processos de manufatura nos quais uma única peça é processada resultando em uma única e identificável peça. É válido ressaltar que não importa a quantidade de operações envolvidas no processamento da peça em si, e sim, a existência da proporção “uma peça entra, uma peça sai”. Logo, esta categoria compreende as operações de usinagem, tais como fresamento, furação, lapidação, polimento, brunimento, retífica e torneamento (BROWNE *ET AL*, 1988).

Tipo II - Embora não esteja explícito no modelo original de BROWNE *ET AL* (1988), é possível incluir as operações que envolvem o processamento simultâneo de lotes, mantendo a

proporção “um lote entra, um lote sai”, tais como câmaras de pintura e cura, ou ainda os que dependem da temperatura, tais como fornos, estufas e tratamento térmico, estão igualmente incluídas nesta categoria.

### 1.3. Combinativas

Tipo I – Fazem parte deste tipo todas as operações de manufatura que resultam na combinação de várias peças diferentes em uma única peça (BROWNE *ET AL*, 1988). Por definição, estão incluídas as linhas de montagem, tais como automóveis, placas de circuito impresso, móveis, eletrodomésticos e equipamentos industriais.

Tipo II - Além desses segmentos listados anteriormente, é possível incluir as operações nas quais as peças são combinadas às substâncias químicas, tais como pintura, revestimento, adesivos, vedantes, entre outros. Desse modo, este tipo não configura uma operação de montagem, e sim, a adição de compostos químicos às peças fabricadas.

## 2. A MANUFATURA REPETITIVA

Manufatura Repetitiva consiste na fabricação, usinagem, montagem e testes de produtos padronizados produzidos em volume ou produtos montados em volume a partir de peças (sub-montagens) padronizadas. Isto difere das oficinas especializadas (*layout* funcional), em termos de volume de produção (HALL, 1981).

A Manufatura Repetitiva caracteriza-se por longos períodos de produção, ou corridas. Quanto mais rápido as peças fluírem de uma estação de trabalho à outra, menores o estoque em processo, o *lead time* e o custo de processamento. Este sistema possui algumas características:

1. A capacidade é dedicada a produtos específicos;
2. As rotas de fabricação são fixas, pelas quais os materiais fluem entre as estações de trabalho, que devem ser balanceadas em termos de capacidade;
3. O tempo de processamento é curto, devido à impossibilidade de acumular material entre as estações, limitando o estoque em processo.

As estações de trabalho são controladas por programas diários de produção, ao contrário das oficinas especializadas que são controladas por ordens de serviço. Estas consistem em um pedido de produção de uma determinada quantidade de um item. Em seguida, é necessário parar

a produção e preparar as máquinas para produzir outro item diferente. Sempre que a produção de itens for repetitiva, o chão de fábrica será controlado por programações diárias, ao invés de ordens de serviço.

O objetivo da manufatura repetitiva é estabelecer um fluxo suave e rápido de materiais passando por determinadas rotas de fabricação. As oficinas especializadas, por sua vez, garantem elevada flexibilidade do sistema de produção e operam com rotas de fabricação diferentes para cada variação de produto.

Feitas as considerações sobre a Manufatura Repetitiva e reunindo as informações das seções 1 e 2 deste apêndice, os diversos segmentos industriais de bens de consumo podem ser caracterizados por sistemas de manufatura repetitiva, que estão divididos em duas categorias:

- ✓ Sistemas de fabricação,
- ✓ Sistemas de fabricação e montagem.

Em suma, os tipos de operações apresentados anteriormente podem ser resumidos e agrupados quanto ao segmento industrial de acordo com o **quadro 1**:

**Quadro 1 – Sistemas de manufatura e as operações de fabricação e montagem**

<b>Operações</b>	<b>Fabricação e Montagem</b>	<b>Fabricação</b>
Combinativas, tipo I	Automóveis, eletrodomésticos, motores, válvulas, móveis, computadores	
Combinativas, tipo II		Pintura, revestimento, impermeabilização
Disjuntivas, tipo I		Peças a partir de bobinas, chapas, tarugos, etc.
Disjuntivas, tipo II		Peças a partir de pós, pelotas, granulados (sinterização do pó, moldagem por injeção de plásticos)
Sequenciais, tipo I		Usinagem, polimento, lapidação, retífica.
Sequenciais, tipo II		Tratamento térmico, fornos, estufas.

Fonte: adaptado de Browne *et al* (1988).

## APÊNDICE B

### 1. OBJETIVOS DE DESEMPENHO DA PRODUÇÃO

Em decorrência da importância da função produção, esta se torna responsável em implementar a estratégia organizacional, definida a partir dos objetivos de desempenho que darão competitividade à organização em um nicho de mercado específico. E, inclusive, permitirão o atendimento aos interesses de acionistas, consumidores, sociedade e funcionários. Tais objetivos são agrupados em cinco categorias: Flexibilidade, Rapidez, Confiabilidade, Qualidade e Custos (SLACK *ET AL*, 2002).

Essas definições enfatizam a estreita relação de causa e efeito que os objetivos de desempenho mantêm entre si. Estes objetivos tem efeitos internos, que reduzem os custos de produção. Desse modo, é possível representar os Custos como uma consequência dos outros quatro objetivos, particularmente:

- Operações rápidas reduzem o nível de estoque em processo entre as micro-operações, bem como diminuem os custos administrativos indiretos,
- Operações de alta qualidade não desperdiçam tempo e esforço necessários aos processos de transformação,
- Operações confiáveis permitem maior estabilidade, reduzindo os imprevistos indesejáveis nos processos internos,
- Operações flexíveis adaptam rapidamente às mudanças nos cenários e não geram interrupções nas macro-operações da empresa.

A partir dessas premissas, a flexibilidade está ligada à capacidade de adaptação aos diferentes requisitos do mercado. Desse modo, a complexidade dos ambientes internos e externo à organização motiva o desenvolvimento de técnicas que propiciem o alcance de um desempenho superior em relação à concorrência. No contexto da Manufatura Enxuta, quando a produção estiver sincronizada ao padrão de consumo dos clientes finais, a flexibilidade real é alcançada, com tempo de atravessamento reduzido, mantendo níveis mínimos de estoques (COLEMAN & VAGHEFI, 1994).

Neste trabalho, ressaltam-se a importância dos objetivos de flexibilidade, rapidez e confiabilidade. Desta forma, focaliza-se a atenção no pilar *Just-in-time*, mais particularmente pelo Sistema *Kanban*, que foi desenvolvido para controlar o fluxo de materiais, e o Nivelamento da Produção, utilizado como meio de ajuste da capacidade da fábrica à demanda externa.

Estes objetivos relacionam-se aos indicadores de desempenho do sistema de produção, que serão analisados na próxima seção.

## 2. INDICADORES DE DESEMPENHO DA PRODUÇÃO

A partir do entendimento dos objetivos de desempenho da produção que garantirão o alcance dos resultados estratégicos da empresa, um sistema de produção pode ser mensurado em termos de flexibilidade, confiabilidade, custos e rapidez. Assim, os indicadores são definidos:

### a) Flexibilidade de composto (*mix*)

Visto que a flexibilidade de *mix* consiste na capacidade de fabricar diferentes produtos em um mesmo intervalo de tempo, este indicador pode ser medido pelo número de preparações (*Set up*) realizadas em um dado período de referência. Conseqüentemente, quanto menor o tamanho dos lotes de produção dos modelos de produtos, maior será o número de preparações realizadas em um dado período de tempo e, conseqüentemente, maior será a flexibilidade de *mix* do sistema de produção. Por exemplo, se uma máquina que antes realizava 100 preparações por semana, passar a fazer 150 preparações por semana, houve um aumento de 50% na flexibilidade de *mix* desse sistema.

### b) Confiabilidade

Em sistemas *make-to-stock*, o nível de serviço é um indicador numérico, entre zero e 100%, relacionado à probabilidade de atendimento do cliente externo a partir dos produtos finais acabados existentes no estoque. Pode ser expresso como o percentual de pedidos atendidos diretamente do estoque, na primeira ocorrência do pedido do cliente, em um dado intervalo de tempo.

Quando o período selecionado for um mês, busca-se medir o nível de serviço do sistema de produção após o “fechamento do mês”, com vistas a comparar o desempenho do sistema ao padrão de desempenho estabelecido como meta corporativa em uma frequência mensal.

c) Rapidez

Uma das métricas utilizadas para a mensuração da agilidade na resposta aos pedidos dos clientes é o *lead time*, ou tempo de atravessamento. Dentre as várias equações encontradas na literatura, a Lei de *Little* (*Little's Law*) descreve o cálculo do *lead time* com base **equação (JANET, 2004)**:

$$\text{Lead time} = \text{Estoque} / \text{Taxa de produção média} \quad (1)$$

Em outras palavras, o *lead time* é a razão entre o estoque médio e a capacidade de produção expressa em taxas de produção.

Shook & Rother (2001) recomendam que o *lead time* seja calculado de forma bastante similar à **equação 1**, porém, substituindo a taxa de produção média pela demanda média, conforme a **equação 2**:

$$\text{Lead time} = \text{Estoque} / \text{Demanda diária média} \quad (2)$$

Assim, esta equação quantifica a rapidez do sistema de produção em relação ao “estoque em dias”, isto é, o tempo, em dias, para que todo o estoque, acumulado em um determinado período, seja consumido, dada uma demanda diária média. Por exemplo, se o estoque de um produto acabado em um mês for igual a dez mil peças e a respectiva demanda diária média for igual a mil peças por dia, então o *Lead time* será igual a:

$$\text{Lead time} = 10.000 \text{ peças} / 1.000 \text{ peças/dia}$$

$$\text{Lead time} = 10 \text{ dias}$$

Se o estoque de produtos finais acabados em um dado sistema de produção passar de 10 dias a 5 dias de estoque, significa que houve uma **redução** de 50% no *lead time*, isto é, houve **aumento** na rapidez em 50%. Assim, os gerentes de produção podem ter uma referência de quão rápidos os materiais fluem entre os processos.